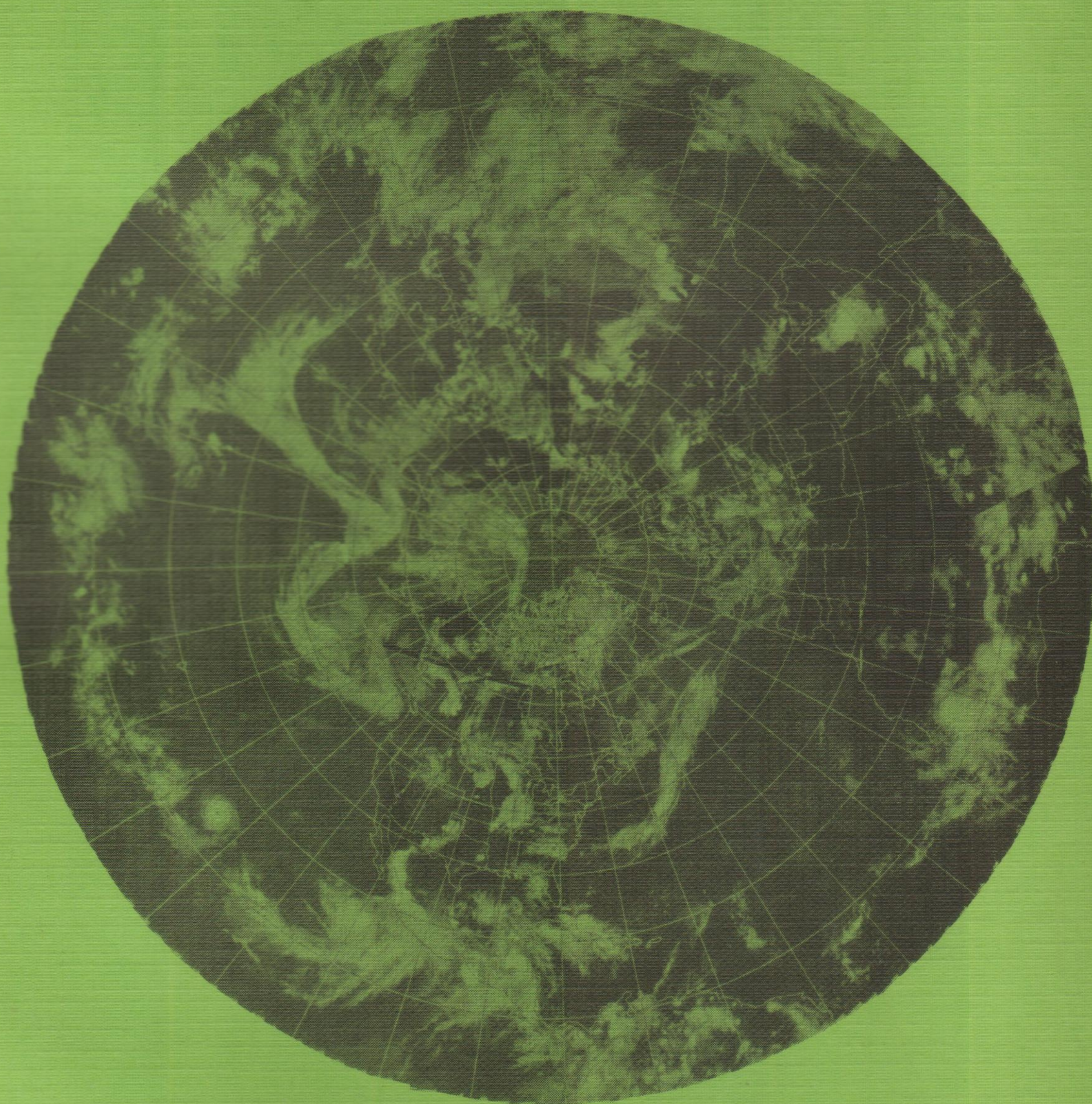
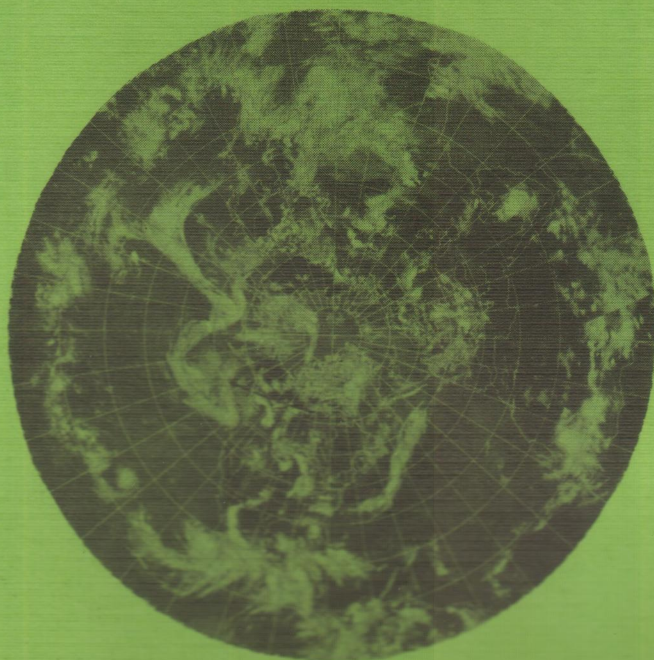
"KRINGLOPEN"



BOVENBOUW
HAVO

PLON

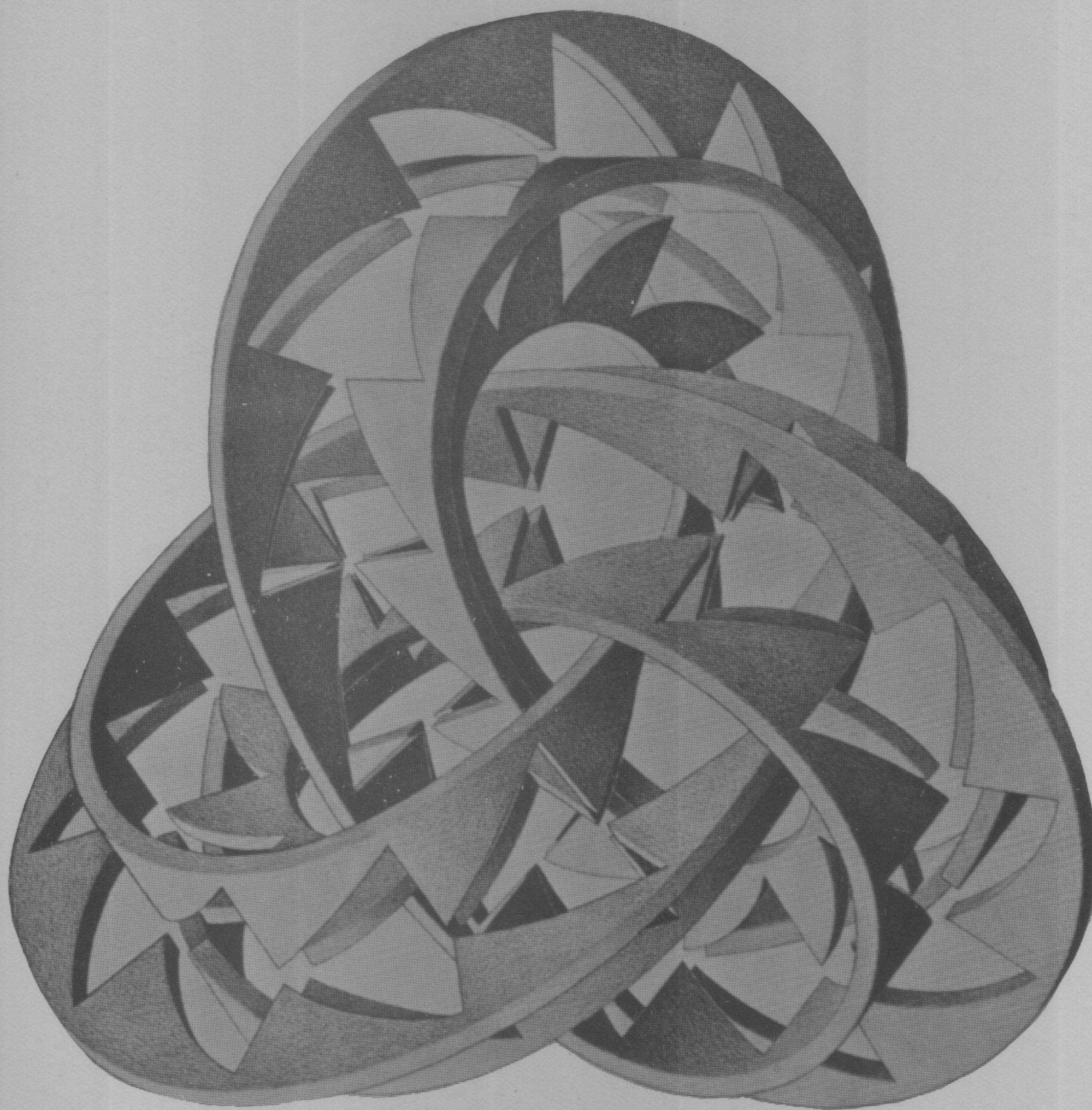
HbЪ LDB 4.03.01



INHOUD

HOOFDSTUK 1

INLEIDING



inleiding



The Aztec calendar, carved over 100 years before our calendar was adopted, divides the year into eighteen months of twenty days each.

INLEIDING

1.1. Waarom 'kringlopen'?

Dit thema heet 'kringlopen'. Op het eerste gezicht een misschien wat vreemde titel. Je kunt je afvragen wat dat nu met natuurkunde te maken heeft. Een terechte vraag!

Als je het woord kringloop opzoekt in een woordenboek dan vind je als omschrijving: 'cirkelgang'. Beide woorden roepen het beeld op van 'iets' dat steeds maar rondloopt.
Zonder dat er een begin of eind aan valt te onderscheiden. De meest bekende cirkelgang is misschien wel de kringloop der jaargetijden. De altijd maar voortdurende opeenvolging van lente, zomer, herfst en winter, als gevolg van de cirkelgang van de aarde rond de zon. Of de cirkelgang van licht en donker, dag en nacht, vanwege de draaiing der aarde om haar eigen as. Veel mensen hebben, al van oudsher, in deze kringlopen een inspiratiebron gevonden voor het ontwikkelen van allerlei 'mooie gedachten'. Maar daar gaan we nu verder niet op in.

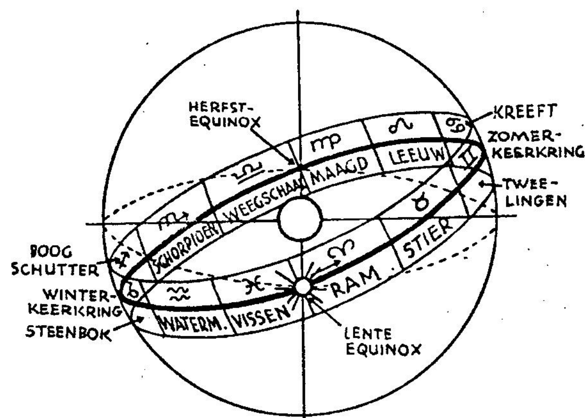


fig. 2.

Vooral de laatste jaren echter wordt het begrip kringloop veel meer gebruikt als vroeger. Het is bijna een mode-woord geworden. 'Kringlopen zijn in'! De grote stoot hiertoe werd gegeven aan het eind van de jaren zestig. Toen dreigde onze welvaart, die tot dan toe onbekommerd gegroeid was, ons zelf bijna boven het hoofd te groeien.
Opeens realiseerde men zich dat de voorraad beschikbare grondstoffen voor onze industrie eindig is.
Dat er in de naaste toekomst een energieprobleem zou kunnen ontstaan.
En dat we met ons allen bezig waren ons eigen leefmilieu op bijna onherstelbare manier te vernietigen.

ADVERTENTIES

Kringlooppapier proberen?

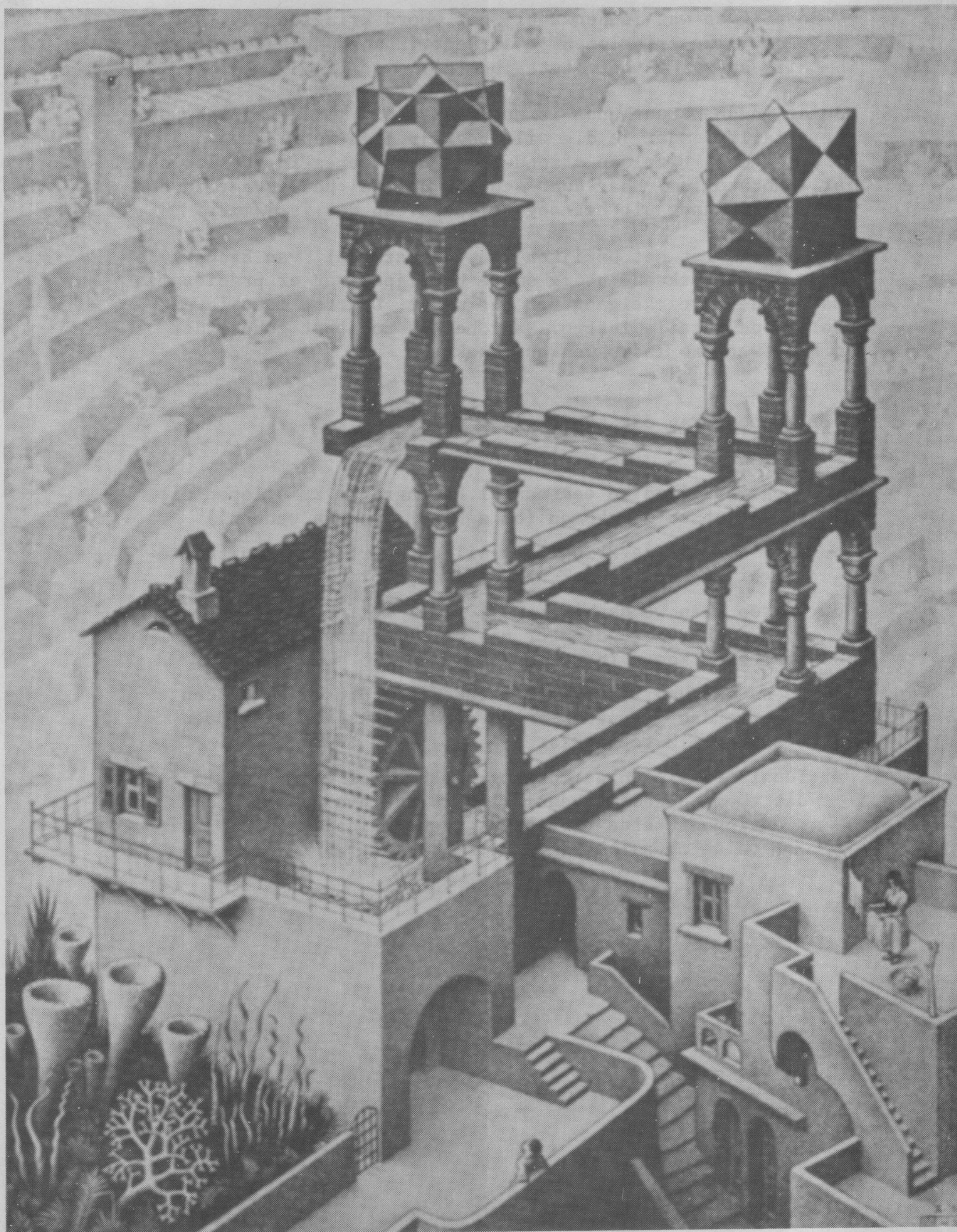
Eerst bij 'n specialist informeren

DE KRINGLOOP

Postbus [redacted]. Baarle Nassau
tel. 04257-[redacted]

fig. 3

Of, anders gezegd, op eens realiseerde men zich, veel scherper als ooit tevoren, dat alles in de natuur, ook wijzelf, deelneemt aan verschillende kringlopen.
Die vaak op ingewikkelde manieren met elkaar verbonden zijn, zodat je niet ongestraft de ene kunt onderbreken, zonder de anderen te beïnvloeden.
Daarom kan het denken vanuit een kringloop zo nuttig zijn. Het geeft je een 'totaal-beeld', een overzicht, van waaruit je het belang van alle details uit de kringloop beter kunt begrijpen en beoordelen. Als een Napoleon die vanaf een heuvel zijn slagveld overziet. En dat moet je dan vergelijken met de soldaat die midden



in het krijgsgewoel staat.

. Schrijf op wat je denkt bij het woord kringloop
. Ga na welke kringlopen je al kent. Wat zijn daarin de details en wat is het 'totaalbeeld'?

Juist in de natuurkunde is het vaak nodig 'in te zoomen' op de details, omdat je die wilt begrijpen en verklaren. Daartoe moet je ze dan afzonderlijk bestuderen in je klaslokaal of laboratorium. Maar daar schuilt dan wel het gevaar in dat je de samenhang uit het oog verliest. En dat is jammer!

Het is als met het bekijken van 'de waterval' van Escher. Je hebt de natuurkunde nodig om te begrijpen wat er précies mis is met de cirkelgang van het water. Daartoe moet je dan wel op de details letten. Maar het is toch het geheel dat dit ontwerp zo indrukwekkend maakt.

1.2. Opbouw van dit thema

a. Eerst bekijken we een aantal belangrijke kringlopen die in de natuur voorkomen (om aan het idee te wennen!)

b. Maar als we die kringlopen willen begrijpen, stuiten we daarbij op een aantal natuurkundige problemen

c. Daarop gaan we dan 'inzoomen'. Door zelf onderzoekjes te doen proberen we dichter bij de oplossing van die problemen te komen (detailoplossingen)

d. De natuurkundige wetten en theorieen die we zo vinden gaan we dan gebruiken om de eerder bekeken kringlopen afzonderlijk te verklaren

e. Tenslotte willen we ook nog proberen of we met de in dit thema opgedane kennis inderdaad in staat zijn om meer ingewikkelde verbanden tussen kringlopen te begrijpen (als 'totaalbeeld')

HOOFDSTUK 2

VRAGEN STELLEN AAN KRINGLOPEN



... en Hij scheidde de wateren die onder het uitspansel waren, van de wateren die boven het uitspansel waren ...

vragen stellen aan kringlopen

2. VRAGEN STELLEN AAN KRINGLOPEN

a. Beperking

Natuurlijk kunnen we in dit thema niet alle kringlopen onderzoeken. We moeten ons beperken. En wel tot kringlopen die,vanuit de natuurkunde gezien, te maken hebben met het gedrag van gassen, dampen en vloeistoffen. Zijn die dan belangrijk?

b. Leven in Lucht

Jazeker! We leven tenslotte in een zee van lucht, op een aarde die voor het grootste deel bedekt is met water. Het samenspel daarvan ervaren we dagelijks in wat we 'het weer' noemen.

In de weerberichten hoor of lees je steeds dezelfde soort termen. Het gaat dan om: hoge-of lage-drukgebieden, warmte of koude, krachtige of zwakke wind, vochtige of droge lucht, regen of zonneschijn, ... of iets er tussen in!

Samen bepalen deze factoren kennelijk 'ons weer'.

- Hoe meet je de temperatuur? Welk temperatuur-interval is op aarde belangrijk?
- Hoe meet je de luchtdruk? Welk druk-interval is belangrijk voor ons weer?
- Hoe meet je de windsnelheid? Welk snelheids-interval komt in de praktijk voor?
- Hoe meet je de hoeveelheid gevallen neerslag? Wat is een redelijk jaargemiddelde in Nederland?
- Wat is een hygrometer? Heb je een idee hoe die werkt?

HET WEER

VERWACHTING TOT HEDENAVOND:
Zwaar bewolkt en nevelig weer met een kleine kans op lichte sneeuw. Lichte vorst met middagtemperaturen ongeveer min 3 graden. Matige, aan de kust nu en dan krachtige oostenwind.

VOORUITZICHTEN VOOR MORGEN EN OVERMORGEN:
Droog weer met lichte tot matige vorst.

VRIJDAG 19 JANUARI:
Zon op: 08.38 onder: 17.03
Maan op: 23.46 onder: 11.05

- fig. 5

In natuurkundige termen gedacht, kun je in eerste instantie zeggen dat de temperatuur, de luchtdruk en de luchtvochtigheid de belangrijkste weer-variabelen zijn. Maar, waar is nu de kringloop?

c. 'Op een mooie zomerdag ...'

Als je op een prachtige zomerdag naar het weerbericht luistert, dan komt daar bijna onveranderlijk de volgende zinsnede in voor: 'in de loop van de dag aan de kust afkoeling door wind van zee'. Hoe komt het toch dat dat prachtige strandweer uitgerekend aan de kust zo vaak 'verpest' wordt?

De meteorologen geven hiervoor de volgende verklaring, uitgebeeld in de kringloop van figuur 6. Door de voortdurende zonnestraling wordt het land veel sneller opgewarmd dan de zee. Het relatief warme land verwarmt, van onderop, de lucht erboven.
Deze verwarmde lucht stijgt op, waardoor de druk in de onderste luchtlagen daalt en in de bovenste stijgt. Daardoor begint in de onderste luchtlagen koelere lucht van zee binnen te stromen, terwijl in de hogere luchtlagen de warmere landlucht de andere kant op gaat. Boven zee gekomen koelt die warmere lucht af, daalt daardoor en stroomt langs de oppervlakte naar het land. Daar wordt ze weer verwarmd en .....
De cirkel is rond. Waarbij dan bovendien nog komt dat de naar het land stromende zeelucht vochtiger is en daarom meestal bewolking met zich meebrengt.

. Het temperatuurverschil tussen land zou je kunnen opvatten als de 'motor' van de kringloop. Waarom? Waarom is er een 'motor' nodig?

Aan het eind van de dag koelt het land snel af, veel sneller dan de zee. De 'motor' van de kringloop valt daarmee stil, wat je merkt aan het feit dat 's avonds de zeewind weer gaat liggen.
Soms, als de afkoeling van het land 's nachts sterk doorzet, gaat de 'motor' zelfs de andere kant opdraaien.
In de loop van de nacht steekt er dan een landwind op!

. Verklaar zelf nu de werking van de kringloop die hoort bij deze landwind (figuur 7)

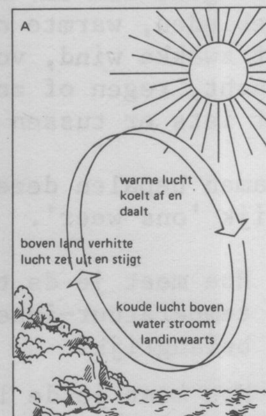


fig. 6
a. overdag stroomt de lucht van het water naar het land: zeewind

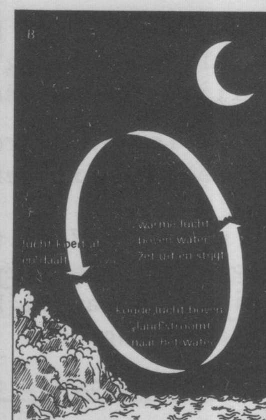
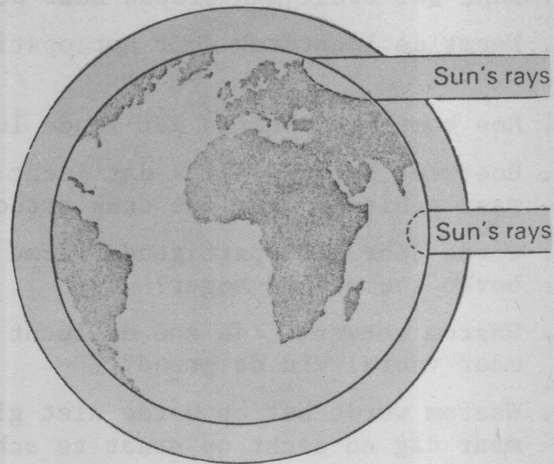


fig. 7
b. 's nachts vloeit de koele lucht van het land naar het warmere water: landwind

d. <u>Principe van de algemene luchtcirculatie</u>

Het lijkt erop dat we nu snappen dat er in de atmosfeer kringlopen voorkomen, die bepalend zijn voor ons weer. En de oorzaak, 'de motor', was het aanwezig zijn van twee grote gebieden met heel verschillende oppervlakte temperaturen. Maar als die conclusie juist is, dan zou er ook nog een veel grotere lucht-kringloop moeten zijn, die bepalend is voor het klimaat op heel de aarde.

Immers, we weten dat de Noord- en Zuidpool twee gigantische gebieden zijn waar het altijd zeer koud is. Terwijl die brede strook rond de evenaar, de tropen, een groot gebied is waar het altijd zeer warm is.



Dat deze temperatuurverdeling op aarde altijd zo verschillend blijft kun je begrijpen als je kijkt naar figuur 8. Daarin zie je hoe ongelijk de zon, als eigenlijke gigantische 'motor' van alles wat op aarde gebeurt, haar gaven over onze eenvoudige planeet verdeelt.

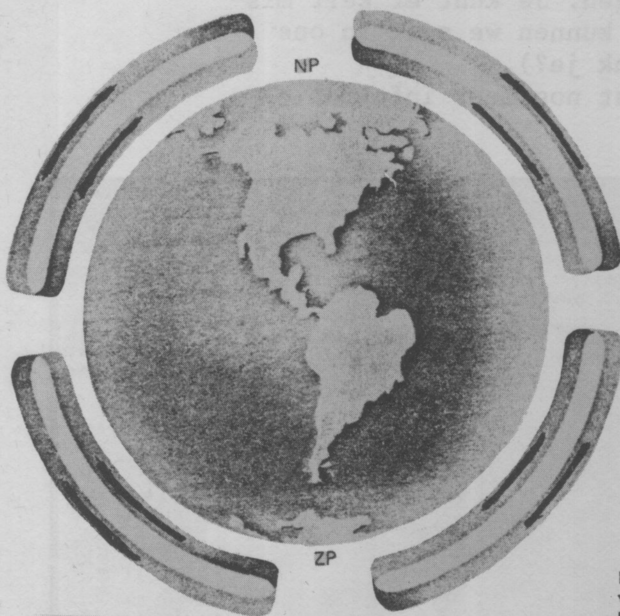


Fig. 9 Sterk gesimplificeerde voorstelling van de warmte-uitwisseling tussen lage en hoge breedte.

. Verklaar nu waarom het in de Tropen altijd warmer zal zijn dan aan de Polen.

En in figuur 9 zie je dat er zich, juist als gevolg van dit temperatuurverschil inderdaad een luchtkringloop op wereldschaal instelt.

. Geef in figuur 9 de stroomrichting van deze luchtcirculatie aan, en verklaar deze richting

Hoewel, als we deze kringlopen vanuit de natuurkundige hoek wat preciezer bekijken, dan rijzen er toch nog wel een paar vragen, zoals:

. Hoe komt het eigenlijk dat warme lucht opstijgt?

. Gaat dat opstijgen steeds maar door?

. Neemt de luchtdruk door het opstijgen naar boven toe steeds toe?

. Hoe komt het precies dat koude lucht daalt?

. Hoe komt het eigenlijk dat lucht van gebieden met hoge druk naar gebieden met lage druk stroomt?

. Wordt door die opstijgende warme lucht de temperatuur naar boven toe steeds hoger?

. Waarom verwarmt de zon de lucht eigenlijk niet rechtstreeks, maar vooral via de grond?

. Waarom wordt het op aarde niet gloeiend heet als de zon daar maar dag en nacht op staat te schijnen?

. Als zo'n verschil in hoeveelheid zonnestraling als tussen evenaar en polen zo'n temperatuurverschil ten gevolge heeft, hoe koud zou het dan wel niet worden zonder zon?

Kortom vragen, vragen en nog eens vragen. Je kunt er zelf misschien nog wel meer bedenken. Sommige kunnen we zelf in ons klaslokaal gaan onderzoeken (welke denk je?).
Maar voor enkele andere hebben we eerst nog meer informatie nodig.

e. Energiebalans

Bijvoorbeeld over alle energie die de zon naar ons toestraalt. Figuur 10 laat in grote lijnen zien wat daarmee gebeurt.
Zo'n plaatje heet een 'energiebalans'. Een deel van het invallende zonlicht ($\approx$ 34%) wordt onmiddellijk teruggekaatst. Terwijl de rest van de zonne-energie blijkbaar uiteindelijk ook weer naar de wereldruimte verdwijnt; de balans is in evenwicht!
Maar niet voordat deze rest, al of niet via de aarde, eerst heeft gezorgd voor het op temperatuur houden van de atmosfeer. En daarmee fungeert ze, zoals we hebben gezien, als 'motor' van de atmosferische luchtcirculaties. Opvallend is, gezien de dikte van de pijl, de rol die waterdamp daarin kennelijk speelt. Daar moeten we dan toch ook wat meer van weten!

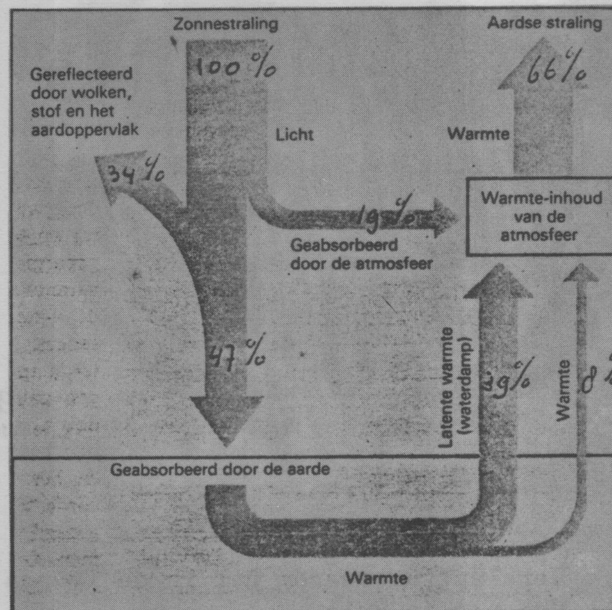


Fig. 10 Schematische uitbeelding van de warmtehuishouding, gemiddeld over de gehele atmosfeer. De dikte van de pijlen geeft bij benadering de sterkte van de verschillende energiestromen aan.

. Deze energiebalans doet denken aan een 'halve kringloop'. Lijkt je dat een goed beeld?

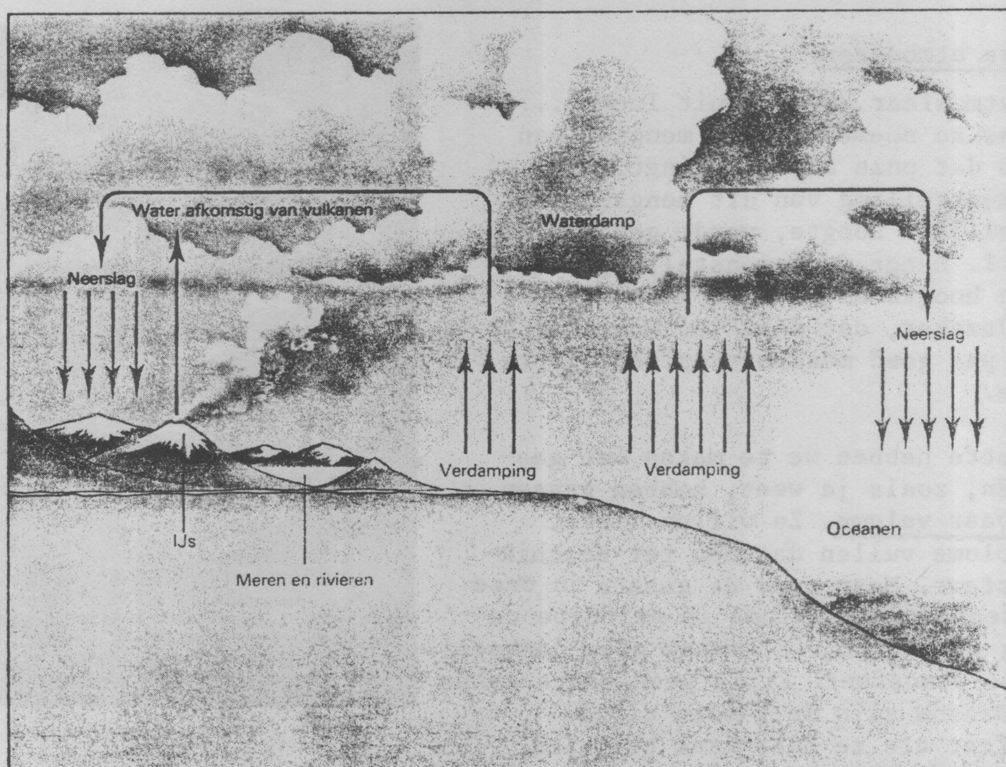
. Wat voor gevolg zou het voor ons kunnen hebben als we deze balans zouden verstoren? Denk je dat dit echt kan gebeuren? Enig idee hoe?

f. De waterkringloop

Er zijn weinig stoffen op aarde die zo belangrijk zijn voor ons leven als water. Elke dag opnieuw gebruiken we het, en soms in grote hoeveelheden. Een gebruik dat trouwens vaak resulteert in een onbekommerd vervuilen.
Er is immers water genoeg, niet waar? Regent het niet bijna elke dag opnieuw helder fris water!
Maar daarbij dreigen we wel te vergeten dat de totale hoeveelheid water op aarde praktisch niet verandert. En realiseren we ons ook nauwelijks dat de hoeveelheid water die hier op ons hoofd valt, ergens anders vandaan moet zijn gekomen.
Ook het water neemt deel aan een voortdurende kringloop.

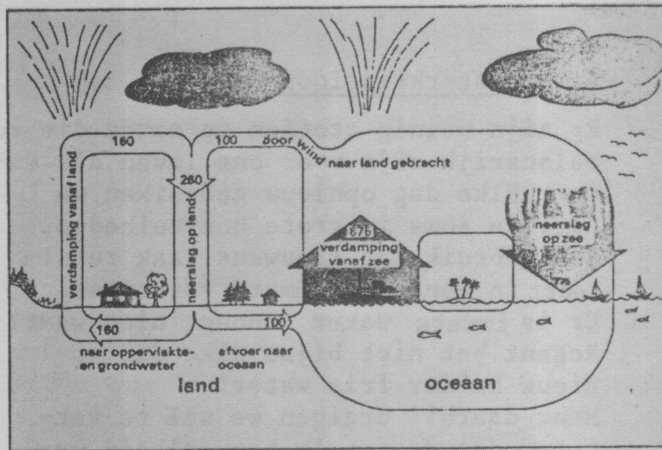


Hieronder: Fig. 12 Schematische uitbeelding van de kringloop van het water.



Van verdampen, opstijgen, condenseren, meegevoerd worden door de wind om weer elders neer te regenen. Een keten van processen die zonder dat we erbij stilstaan, enorme hoeveelheden water verplaatst (zie figuur 13). En die ten nauwste verbonden is met de energiebalans en de luchtcirculaties.
Via wolken, wind en zonneschijn!
Ook bij deze kringloop kunnen we, om haar beter te begrijpen, weer een aantal natuurkundige vragen stellen, zoals:

- Wat is verdampen eigenlijk? En condenseren?
- Hoeveel energie kost het verdampen? En condenseren?
- Op welke hoogte gebeurt het condenseren en waarom?
- Waarom 'valt' een wolk soms wel en soms niet naar beneden?
- Wat is vochtige lucht en wat is droge lucht?
- Hoe is dan precies de koppeling tussen energiebalans, luchtkringloop en waterkringloop?

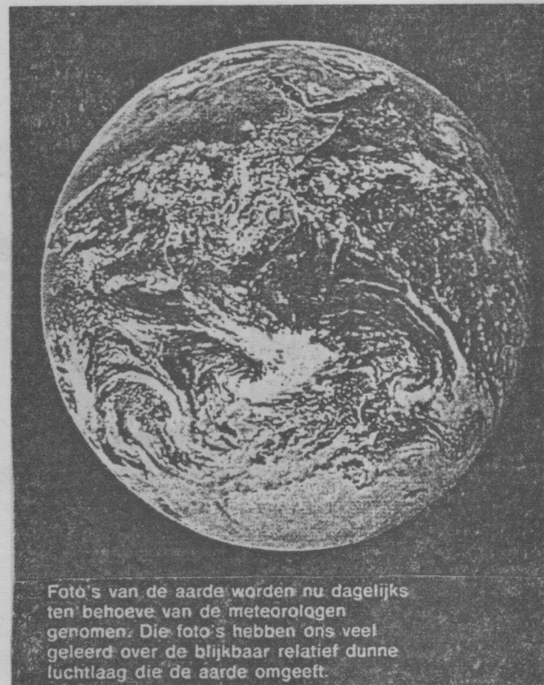


Figuur 13 Waterkringloop van de aarde (in miljard m³ per dag).

En toch is de hoeveelheid waterdamp in onze atmosfeer eigenlijk maar erg klein, hooguit een paar procent. Maar, waaruit bestaat dan de rest?

g. Onze atmosfeer

Onze atmosfeer bestaat uit lucht ...! Althans zo noemen we dat mengsel van gassen dat onze aarde omringt. De samenstelling van dit mengsel, op 'menselijke' hoogte, wordt gegeven in tabel 1. Hangt de samenstelling dan van de hoogte af, zou je kunnen vragen? Jazeker, dat doet ie! Maar het wordt pas goed merkbaar op zeer grote hoogte.



Foto's van de aarde worden nu dagelijks ten behoeve van de meteorologen genomen. Die foto's hebben ons veel geleerd over de blijkbaar relatief dunne luchtlaag die de aarde omgeeft.

Tenslotte hebben we te maken met gassen. En, zoals je weet, hebben gassen <u>geen vast volume</u>. Ze willen liefst elk volume vullen dat hen ter beschikking staat. Maar voor de gassen in onze atmosfeer is dat volume in principe oneindig groot! Er zit immers geen 'deksel' op onze atmosfeer! Er is geen echte grens aan. Daarom zijn de gassen uit de atmosfeer als ze daar kans toe zien, vrij om te ontsnappen naar de wereldruimte. En omgekeerd!
De aarde en haar atmosfeer maken dus eigenlijk ook deel uit van wat je een gigantisch 'kosmisch gebeuren' zou kunnen noemen.

Welnu, de wereldruimte is hoofdzakelijk gevuld met zeer ijl waterstofgas. En omdat de overgang tussen atmosfeer en wereldruimte dus zeer geleidelijk moet gaan, zal de samenstelling van de atmosfeer op zeer grote hoogte heel anders moeten zijn dan op aarde.

Stoffen in de lucht	*Symbool*	*In volumedelen per miljoen volumedelen (cm³ per m³ lucht)*	*In gewichtsdelen per miljoen gewichtsdelen (mg per kg lucht)*
Stikstof	N_2	780900	755190
Zuurstof	O_2	209500	231500
Argon	Ar	9300	12800
Kooldioxyde	CO_2	324	486
Neon	Ne	18	12,5
Helium	He	5,24	0,72
Methaan	CH_4	2,20	1,20
Krypton	Kr	1,00	2,90
Stikstofoxyde	N_2O	0,50	0,76
Waterstof	H_2	0,50	0,03
Xenon	Xe	0,08	0,36
Ozon	O_3	0,01	0,02
Waterdamp	H_2O	variabel ca. 1,2%	variabel ca. 0,7%

Tabel 1 Gemiddelde samenstelling van normale lucht

Waarbij je dan natuurlijk wel de vraag kunt stellen waarom het waterstofgas in de wereldruimte domineert, terwijl het in onze atmosfeer nauwelijks van betekenis is. Trouwens, waarom verdwijnt die hele atmosfeer gewoon niet langzaam aan de ruimte in?
Er is immers toch niets dat de lucht van boven tegen-houdt?

Natuurlijk is dat er wel! Alleen niet van boven, maar van beneden. Dat is de zwaartekracht! De kracht waarmee de aarde en de gasmoleculen elkaar aantrekken.
Deze zwaartekracht zorgt ervoor dat de gassen in de atmosfeer toch liefst zo dicht mogelijk rond de aarde blijven.
Als een betrekkelijk dunne gasdeken die onze planeet warm toedekt. Die deken is maar dun, omdat verreweg het grootste deel ($\approx$90%) van alle 'lucht' zich bevindt beneden een hoogte van zo'n 10 km. Deze onderste laag heet de 'troposfeer'. Dat is de laag die belangrijk is voor het weer op aarde en waartoe we ons dus in eerste instantie kunnen beperken. Althans als het gaat om de lucht- en waterkringlopen.

Figuur 15 geeft aan hoe temperatuur en druk zich in deze onderste laag gedragen (Klopt dit met je gedachten over het opstijgen van warme lucht?). Maar ook hoe het verder gaat op veel grotere hoogten. Je ziet dan dat op grond van het verloop van de temperatuur de atmosfeer opgedeeld wordt in verschillende lagen. Zoals gezegd lijkt, vanwege het weer, de troposfeer voor ons het enige belangrijk.

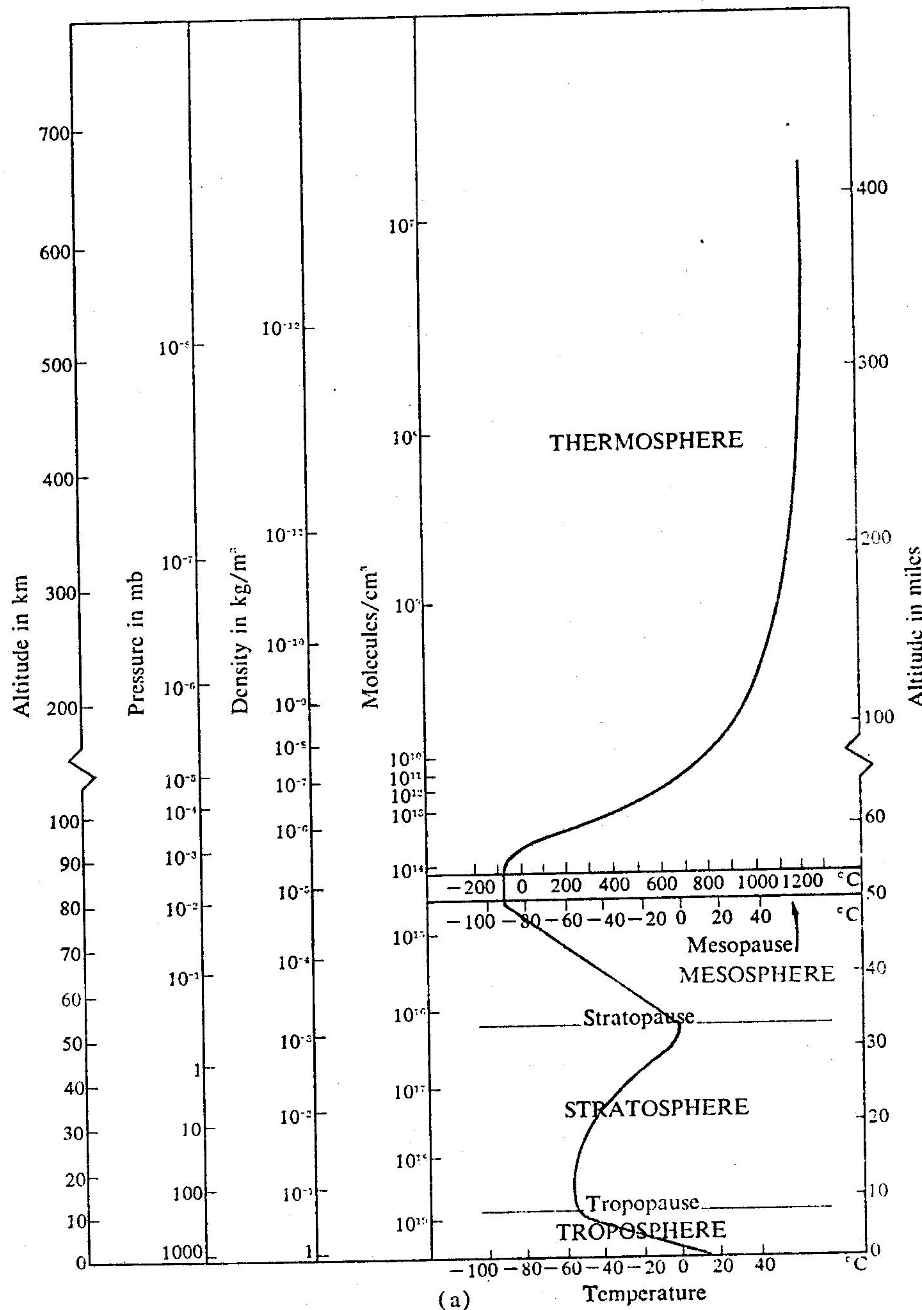


fig. 15 de opbouw van de atmosfeer.

Maar dat is slechts schijn. Ook de processen in de hogere lagen zijn van beslissende betekenis voor ons leven op aarde. Iets daarvan is weergegeven in figuur 16. Terwijl figuur 17 en 18 daarbij aansluiten.
Hierin gaat het weer om heel andere, biologische, kringlopen, waaraan de atmosferische gassen deelnemen.
Het zonlicht treedt ook hier weer als 'motor' op.
Kortom, als je denkt vanuit kringlopen dan overschrijd je soms onvermijdelijk de grens tussen biologie, scheikunde en natuurkunde. Allerlei verschijnselen blijken dan met elkaar

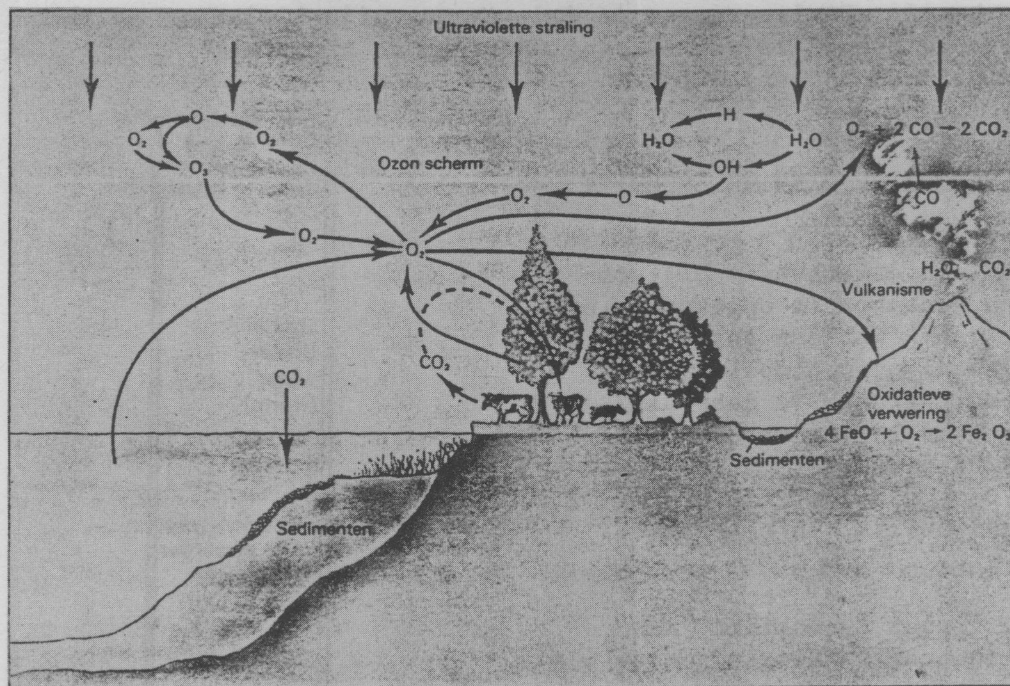


Fig. 16 Een schematische voorstelling van de tegenwoordige kringloop van O_2 en CO_2.

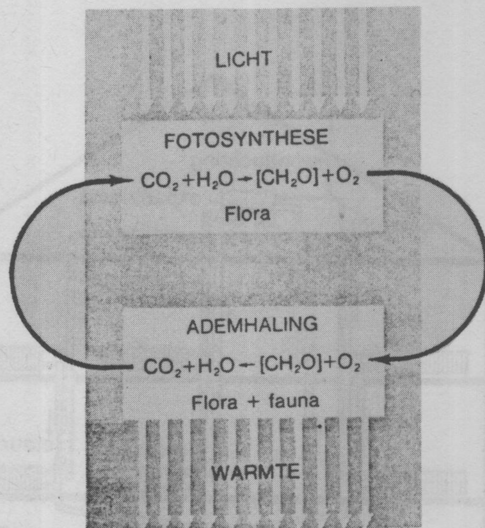


Fig. 17 Hoewel koolstof door de processen van fotosynthese en ademhaling voortdurend circuleert, geldt dit nict voor de energie. Zij wordt bij de fotosynthese in hoogwaardige vorm opgenomen en bij de ademhaling in gedegradeerde vorm weer afgegeven.

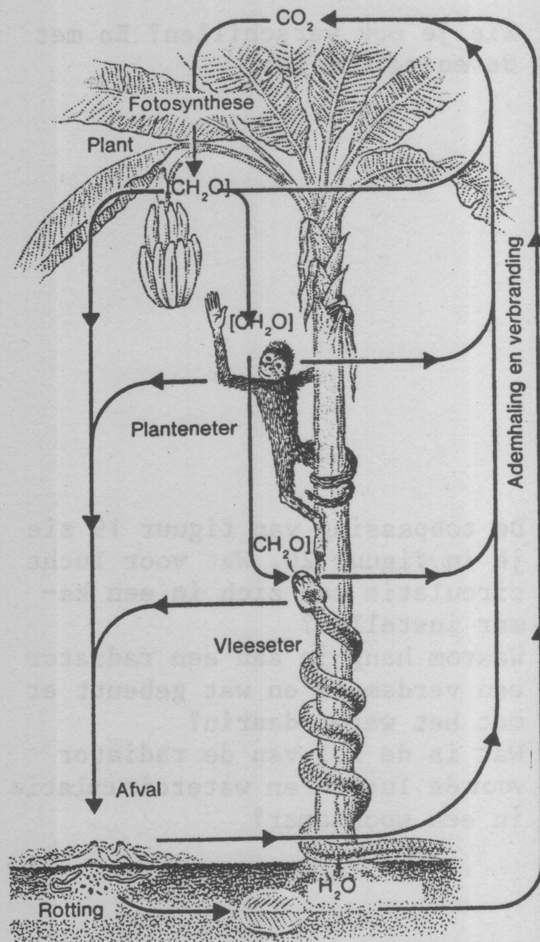


Fig. 18 Koolstof is in de natuur in voortdurende circulatie. Door fotosynthese reageert kooldioxyde in planten en in bepaalde micro-organismen met water, waardoor koolhydraten worden gevormd. Voor elk molecuul kooldioxyde dat uit de lucht wordt opgenomen, krijgt de lucht een molecuul zuurstof terug. Een gedeelte van de koolhydraten wordt door de plant voor haar eigen levensverrichtingen verbruikt, een gedeelte wordt door dieren opgegeten. Dode dieren en planten worden door micro-organismen 'opgegeten'. Bij al deze processen komt weer kooldioxyde vrij. Dit is natuurlijk ook het geval bij de directe verbranding van dode en levende wezens (verbranden van organisch afval, stoken van hout, crematie, bosbrand, enz.).

samen te hangen. De levende en de dode natuur zijn blijkbaar innig verbonden door talrijke kringlopen. En de atmosfeer speelt daarin een centrale rol!

2.2 Ook kringlopen in de techniek?

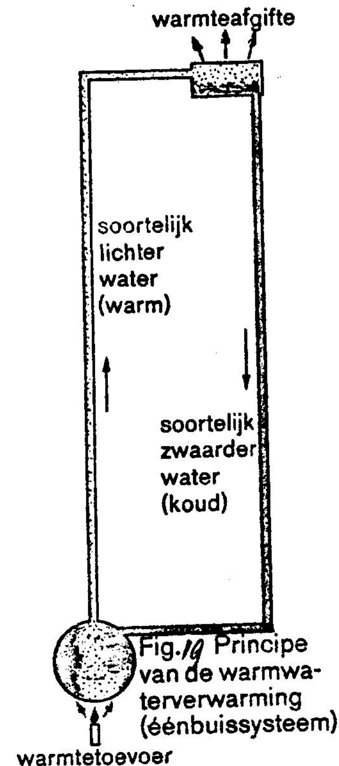


Fig.19 Principe van de warmwaterverwarming (éénbuissysteem)

Misschien dat ondertussen bij sommigen een gedachte is opgekomen in de trant van: 'Wat een geleuter toch allemaal over atmosferische kringlopen. Wat heb je daar aan? Laat mij maar liever wat dichter bij huis blijven!

Best begrijpelijk, zo'n reactie... hoewel?

. Als je figuur 19 bekijkt, aan welke besproken kringloop doet je dat dan denken?

  Zie je ook verschillen? En met de energiebalans?

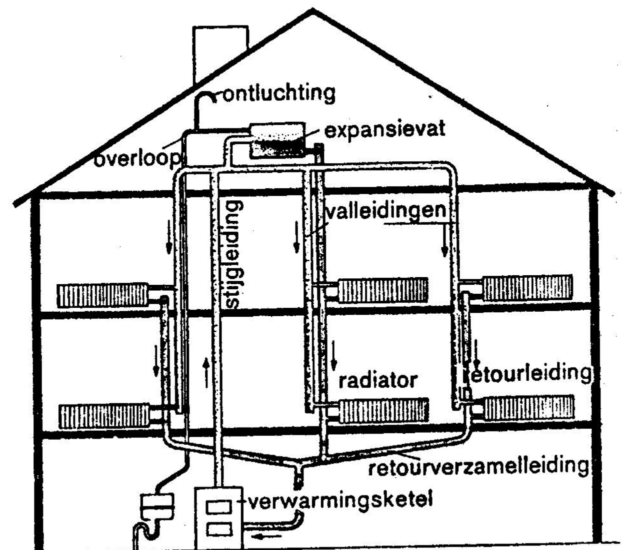


Fig.20 Open warmwaterverwarming met natuurlijke circulatie (tweebuissysteem met boven verdeling)

. De toepassing van figuur 19 zie je in figuur 20. Wat voor lucht circulatie zal zich in een kamer instellen?
  Waarom hang je aan een radiator een verdamper en wat gebeurt er met het water daarin?
  Wat is de rol van de radiator voor de lucht- en watercirculatie in een woonkamer?

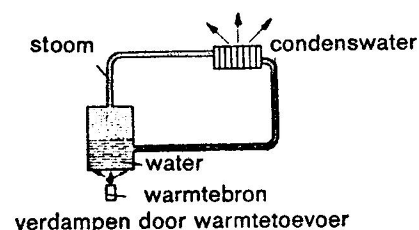


Fig.21 Kringloopschema van een stoomverwarming

. Een ander verwarmingsprincipe staat in figuur 21.
Met welke atmosferische kringloop komt dit overeen?
Wat fungeert hier als 'motor'?
Hoe zit het met de energiebalans?
Hoe werkt de toepassing van figuur 22?

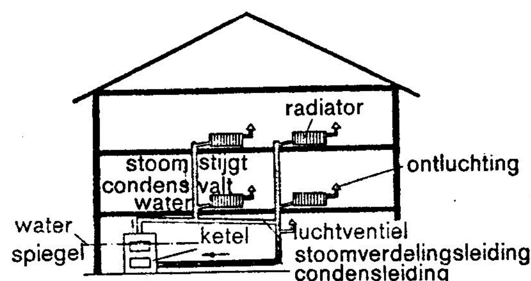


Fig. 22 Eenbuis-lagedrukstoomverwarming met onderverdeling en natte condensleiding

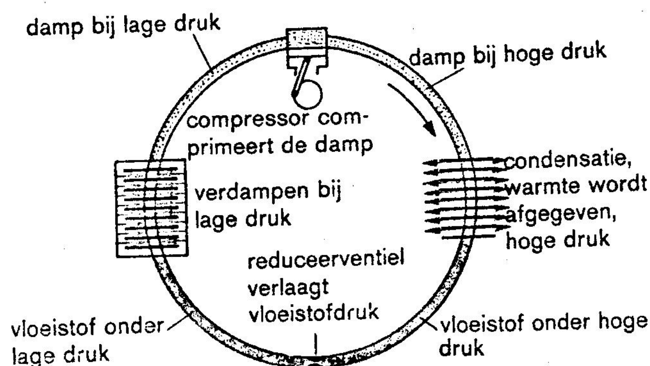


Fig. 23 Werkschema van de compressorkoelkast

. Behalve voor verwarmen wordt het kringloopprincipe ook toegepast bij koelen.
Aan welke atmosferische kringloop doet figuur 23 je denken?
Zijn er ook verschillen?
De toepassing van dit koelprincipe zie je getekend in figuur 24.
Kun je globaal de werking verklaren?

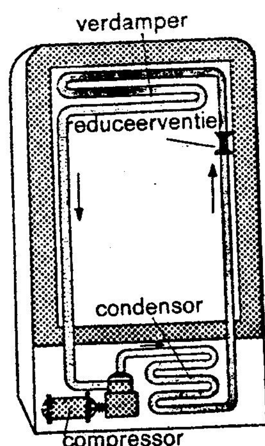


Fig.24 Compressorkoelkast

Uit alle voorbeelden kun je nu de volgende conclusies trekken:

a. kringlopen komen niet alleen ergens ver weg in de vrije natuur voor, maar ook vlakbij in je eigen huis.
Ze worden zelfs toegepast in allerlei technische vindingen.

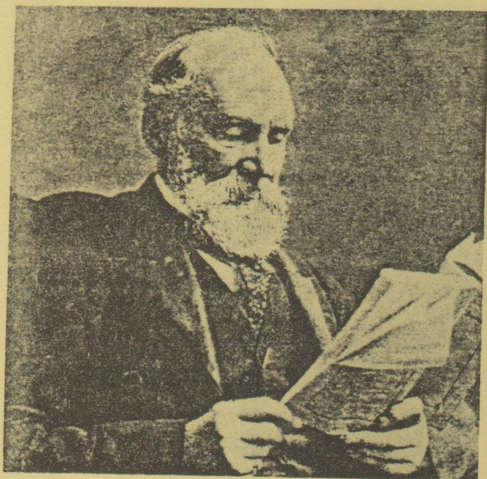
b. de natuurkundige achtergrond van de besproken technische en atmosferische kringlopen is eigenlijk dezelfde.
Blijkbaar kun je de natuurkundige kennis zowel gebruiken om de 'vrije natuur' te begrijpen, als om technische toepassingen te ontwikkelen.

c. maar die natuurkundige kennis moet je dan wel hebben. Daar kom je achter door onderzoek te doen. Door in te gaan op details van zo'n kringloop en die in je klaslokaal of thuis (of laboratorium) precies te bekijken.

DAT GAAN WE NU DAN OOK DOEN!

HOOFDSTUK 3

ONDERZOEK AAN 'DROGE' LUCHT



42. LORD WILLIAM THOMPSON KELVIN



23. JOHN DALTON



15. ROBERT BOYLE

onderzoek aan 'droge' lucht

ONDERZOEK AAN "DROGE" LUCHT

In de inleiding heb je gezien dat de verschijnselen die het weer op aarde bepalen zich afspelen in de $\pm$ 10 km dikke onderste laag van de atmosfeer, de troposfeer.
De verplaatsing van warmte en waterdamp boven het oppervlak van de aarde gebeurt door het zich verplaatsen van luchtmassa's tussen gebieden in de tropen en aan de polen.

De bewegingen van de lucht in de troposfeer zijn - gedeeltelijk - te verklaren vanuit eigenschappen van gassen en dus van het mengsel van gassen dat we lucht noemen.

Op een andere belangrijke oorzaak voor de luchtbewegingen in de atmosfeer, de energietoevoer in de vorm van straling door de zon, gaan we hier niet in.
Je kunt misschien daar wel bij stilstaan in de laatste fase van dit thema; eigen onderzoek.

De proeven in dit hoofdstuk zijn bedoeld om je iets te laten zien van de volgende verschijnselen.

A. lucht oefent een krachtwerking uit op voorwerpen in die lucht; wanneer deze krachtwerking is opgegeven per eenheid van oppervlak noemen we haar de *luchtdruk*

. Ga na welke eenheden van luchtdruk worden gebruikt in de weerkunde en in de techniek
. Probeer erachter te komen waarom 1 atmosfeer ongeveer gelijk is aan $1,0.10^5 \frac{N}{m^2}$

B. de massa van een volume gas; met een 'slingerbalans' als massameter gaan we na welke massa lucht zich bij verschillende temperaturen bevindt in een bol met een volume van 1 l.

C. de onderlinge relaties tussen volume (V), temperatuur (t) en de druk (p) van lucht, in de natuurkunde noemen we de samenhang en tussen volume, druk en temperatuur de gaswetten.

. Bedenk voorbeelden van dagelijkse verschijnselen die je een vermoeden geven van de samenhang tussen de druk en het volume van een opgesloten hoeveelheid gas?

D. warmte effekten die optreden als gas snel van volume verandert

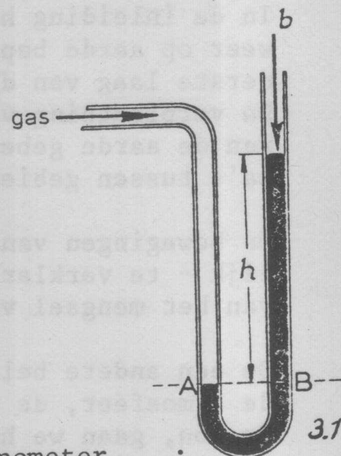
Bij het oppompen van de banden van je fiets met de handpomp doet zich zo'n verschijnsel voor. Let er eens op wäär precies dit verschijnsel het duidelijkst merkbaar is.

E. de stroming van lucht in een'modelkamer'

Deze proef laat je zien hoe in een afgesloten ruimte waar temperatuurverschillen heersen, luchtstromingen zich bewegen.
De beschrijving van de proef staat op blz. 32

GASDRUK METEN

Dit stukje gaat over manieren waarop je de druk van een gas kunt meten.

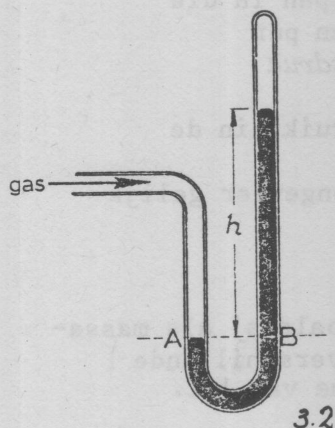


3.1

Bij het meten van gasdrukken maken we gebruik van twee mogelijkheden.
De eerste mogelijkheid is de door het gas uitgeoefende druk vergelijken met de druk die een kolom vloeistof uitoefent, de vloeistofmanometer.
De U-buis manometer is een voorbeeld van zo'n vloeistofmanometer, figuur 3.1.
Het hoogteverschil h tussen de vloeistofspiegels is een maat voor de druk van het gas.
Hoe groter het hoogteverschil, hoe groter de door het gas uitgeoefende druk.

in de open manometer :
gasdruk (N/m^2) = $h.1360 + 1.10^5$ (N/m^2)

Wanneer de meetvloeistof <u>kwik</u> is geldt: 1 cm kwikkolom hoogteverschil = 1360 $\frac{N}{m^2}$



3.2

in de gesloten manometer:
gasdruk (N/m^2) = h.1360 (N/m^2)

De tweede mogelijkheid is de door het gas uitgeoefende druk vergelijken met elastische krachten in een metalen membraan; de membraan manometer.
De metaalmanometer wordt geijkt met een vloeistofmanometer.
De meeste barometers die je buiten laboratoria - bijvoorbeeld in kantoren en in huizen - ziet zijn metaalmanometers.



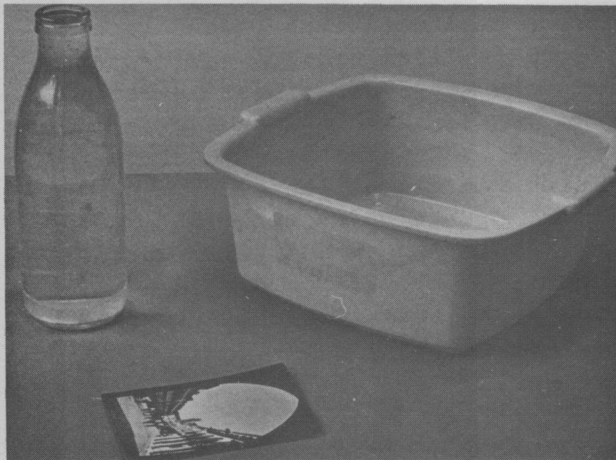
3.3

. Ga na wat men bedoelt met een aneroïde manometer
. Welk nadeel heeft de vloeistofmanometer voor gebruik buiten het laboratorium?

A. LUCHTDRUK

1. Lucht 'draagt' water (1)

Vul een melkfles tot de rand met water en plaats een stukje stevig karton op de opening van de fles.
De rest van de proef moet je boven de wasbak doen!
Houdt het kartonnetje tegen de fles en draai hem om.
. Wat neem je waar als je vervolgens het karton loslaat?
. Ga na wat er gebeurt als je de fles langzaam weer rechtop wilt zetten?

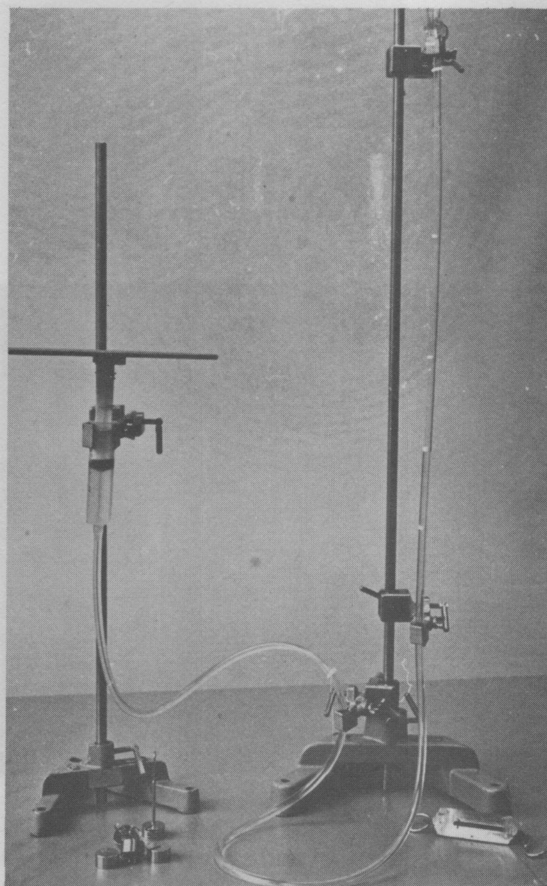


3.4.

2. Lucht 'draagt' water (2)

Aan een injectiespuit is een plastic slang bevestigd die in een U-vorm is gebogen en met water gevuld. Het rechterbeen van de slang is voorzien van een kraan.

. Ga na hoe als in het rechterbeen de kraan open staat, de hoogte van het vloeistofniveau afhangt van de gewichten 'op' de injectiespuit
. Duw de vloeistof op tot de kraan en sluit die.



3.5.

. Hoeveel kracht is nodig om de zuiger van de injectiespuit omhoog te halen?

3. Lucht 'draagt' water (3)

Bedenk zelf een proef waarmee je kunt laten zien welke de langste kolom water is die de lucht kan dragen.

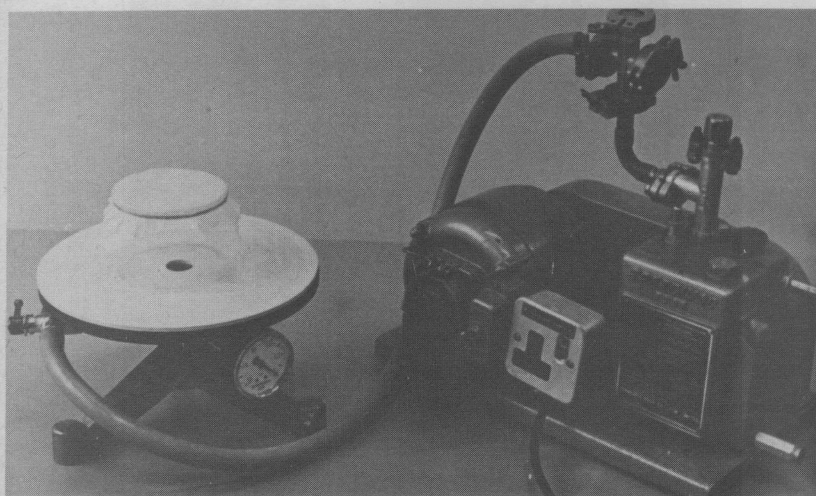
4. Lucht 'scheurt' een vlies stuk



Voor deze proef heb je een luchtpomp en tafel nodig.
Op een metalen cylinder bevestig je aan één kant een stuk perkamentpapier, een stuk plastic of een stuk van een ballon.
Zet op het vlies een blikje zodat je gewichten op het vlies kunt zetten.
Ga na bij welk gewicht het vlies kapot gaat.

3.6.





3.7.

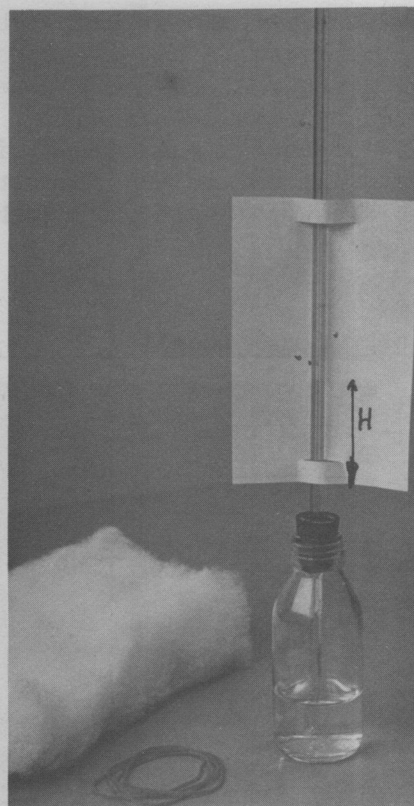
Plaats de cylinder op de tafel vervang het kapotte vlies en zuig met de luchtpomp de lucht onder het vlies weg.

. Beschrijf wat je waarneemt en probeer voor de verschijnselen een verklaring te bedenken.

5. De druk van de lucht op verschillende hoogte (1)

Je hebt een flesje nodig - volume ca. 100 ml - met een passende doorboorde rubberen stop. Door het gat in de kurk steek je een glazen buis zò dat het ondereinde iets boven de bodem van het flesje zit.

Vul het flesje voor een kwart met water en sluit het af met de stop met glasbuis.
Door de stop aan te drukken bereik je dat het water in de buis boven de kurk uitkomt.
Om de veranderingen in de hoogte van het vloeistofniveau te kunnen vastleggen kun je een wit papiertje achter de buis plakken. Eventuele temperatuurinvloeden op het toestel kun je beperken door het flesje te isoleren met b.v. watten

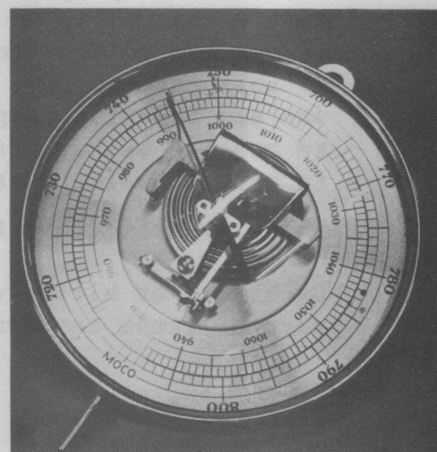


3.8.

- Ga na hoe groot de afstand H is op de verschillende etages van de school.
- Leg uit dat deze luchtdrukmeter op een drukverschil werkt.

6. De luchtdruk op verschillende hoogte

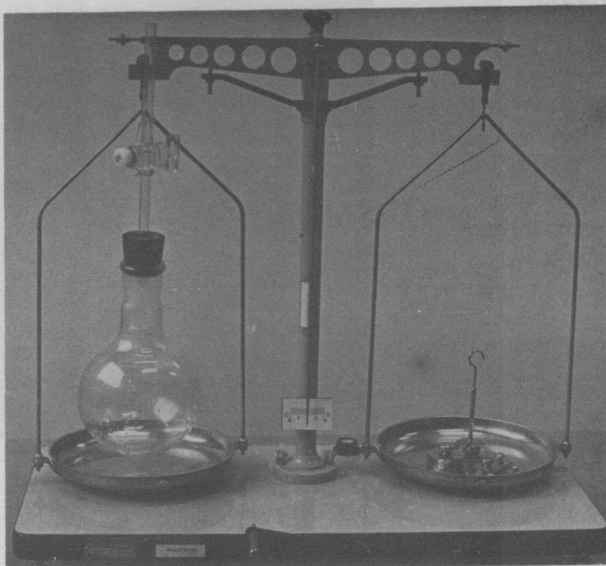
Voor deze proef heb je een 'echte' barometer nodig, liefst een metaalbarometer, en een hoog gebouw.
Meet hoe groot de luchtdruk is - in millibar - op de verschillende verdiepingen van het gebouw.
Herhaal de metingen na ± 2 dagen of op een dag wanneer de luchtdruk aanzienlijk is gedaald of gestegen volgens de weerberichtgeving van het KNMI.



B. DE MASSA VAN LUCHT

Zoals je misschien al eens hebt gezien wijzen metingen uit dat lucht - gassen in het algemeen - gewicht heeft en een massa. Om de massa van een gas te kunnen bepalen is overigens wel een nauwkeurige balans nodig.
Het is bovendien van belang bij 'weging' van gassen de faktoren druk, volume en temperatuur goed in de gaten te houden omdat die nogal veel invloed hebben op de uitkomsten van de metingen.

1. Welke massa heeft 1 dm^3 lucht? (1)



3.9.

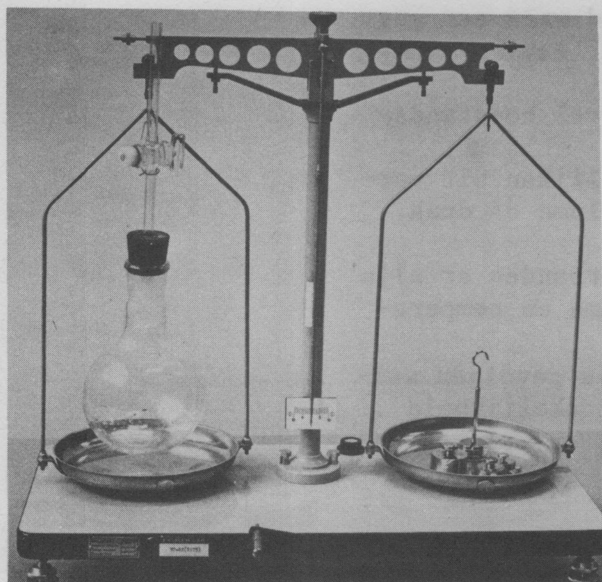
Behalve een balans met een doos met geijkte massa's - de kleinste massa moet 50 mg of minder zijn- heb je voor deze meting een vacuümluchtpomp of een waterstraalpomp nodig.
Bepaal de massa van de lucht die zich bevindt in een rond bodem kolf met een volume van 1 liter door:
- de kolf met geopende kraan enige tijd te plaatsen in water van een bepaalde temperatuur en dan de kraan te sluiten
- te bepalen welke massa de kolf met inhoud heeft.
- te bepalen welke massa de 'lege' kolf heeft

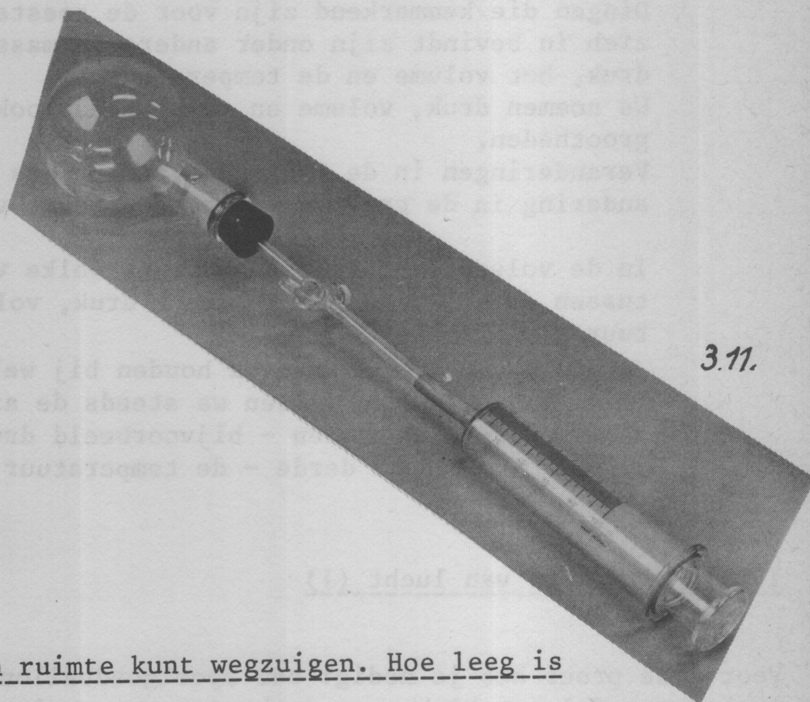
Herhaal de meting bij twee andere temperaturen, bijv. 40 °C en 60 °C.

. Ga na wat er blijkt voor de massa aan lucht die zich bij de verschillende temperaturen in het volume van 1 dm^3 bevindt.

2. Welke massa heeft 1 dm^3 lucht? (2)

Voor deze metingen heb je behalve een balans met geijkte massa's een gasmeetspuit nodig. Zorg dat je de gasmeetspuit kunt aansluiten - via een kraan - op een rondbodemkolf zodat je met de gasmeetspuit lucht uit de kolf kunt halen.
Bepaal de massa van de lucht die zich bij normale druk in de kolf bevindt.
Haal met de gasmeetspuit steeds eenzelfde aantal ml lucht uit de kolf, bijvoorbeeld 40 ml per keer.
Bepaal steeds de massa van de lucht die nog in de kolf zit nadat je er weer 40 ml uitgehaald hebt.





3.11.

3. Hoeveel lucht je uit een ruimte kunt wegzuigen. Hoe leeg is leeg ?

Wanneer je je meetresultaten bij de proeven B_1 en B_2 vergelijkt met de getallen in tabel 12 van het tabellenboekje blijkt waarschijnlijk nog wel wat verschil.
Naast een aantal andere oorzaken is een oorzaak hiervoor dat het volledig leeg pompen van de kolf in de proeven B1 en B2 niet lukt.
Hoeveel je er naast zit kun je achterhalen met de volgende proef:
Pomp met behulp van de vacuüm- of waterstraalluchtpomp zoveel mogelijk lucht uit de kolf van 1 dm^3 die is gebruikt bij proef B1 en doe de kraan dicht en weeg de kolf. Houd nu de opening van de kolf in een bak met water; open de kraan en laat de kolf vol water lopen.
De luchtbel die 'boven in' de kolf blijft zitten bevat de lucht die je bij het leegpompen niet uit de kolf hebt gehaald.
Doe de kraan weer dicht en haal de kolf uit het water. Bepaal met een maatcylinder het volume van de hoeveelheid water die de plaats van de weggepompte lucht heeft ingenomen.
Reken nogmaals uit met de getallen bepaald in proef B1 hoe groot de massa van 1 l lucht is en vergelijk de uitkomst met de waarde uit de tabel.

C. DE GASWETTEN

Laatst ontmoette ik iemand die ik 15 jaar niet meer had gezien. Bij zijn opmerking: 'Nou, jij bent veranderd zeg', bedacht ik dat je zo'n konstatering niet gauw zult horen van iemand die je elke dag meemaakt.

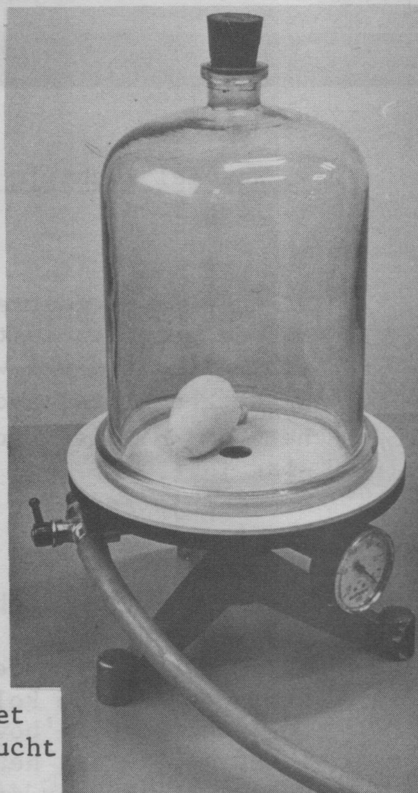
Om een verandering te kunnen bemerken moet je kunnen vaststellen dat er - karakteristieke - dingen veranderd zijn. Je moet dus niet alleen weten wat karakteristiek is voor een persoon, een situatie, de toestand waarin een stof verkeert maar je moet ook kunnen vaststellen - méten - dat daar een verandering in heeft plaatsgevonden.

Dingen die kenmerkend zijn voor de toestand waar een gas zich in bevindt zijn onder andere de massa, de druk, het volume en de temperatuur.
We noemen druk, volume en temperatuur ook wel toestandsgrootheden.
Veranderingen in de toestand van het gas blijken uit verandering in de grootte van temperatuur, volume of druk.

In de volgende proeven gaan we na welke verbanden er zijn tussen de toestandsgrootheden - druk, volume en temperatuur - van lucht.
Om enigszins uit elkaar te houden bij welke gevolgen welke oorzaken horen, zullen we steeds de afhankelijkheid tussen twee grootheden - bijvoorbeeld druk en volume - nagaan terwijl de derde - de temperatuur - op een vaste waarde houden.

1. Het uitrekken van lucht (1)

Voor deze proef heb je nodig: een speelgoedballon, een luchtpomptafel met klok, een drukmeter en een luchtpomp.
Blaas de speelgoedballon op - niet te hard - en bind hem met een touwtje dicht.
Leg de ballon onder de klok en pomp de lucht uit de klok weg.

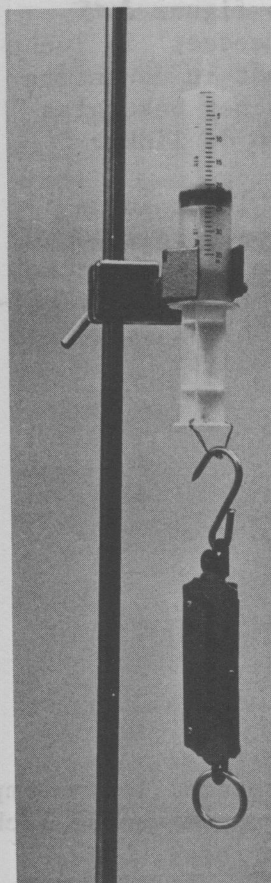


3.12.

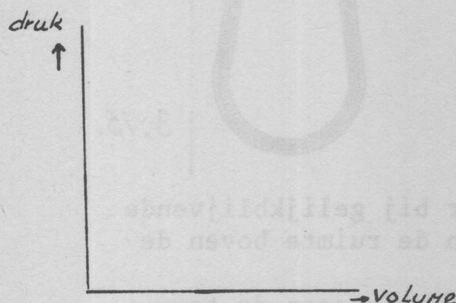
- Welk verband is er tussen de grootte van de ballon - het volume van de lucht in de ballon - en de druk van de lucht in de ballon?
- Welke toestandsgrootheid blijft bij deze proef onveranderd?

2. Het uitrekken van lucht (2)

Voor deze proef heb je nodig een gasmeetspuit, gewichten, statiefmateriaal. Maak een opstelling zoals is aangegeven in figuur 3.13.
Zet de kraan open, zorg dat er ± 20 ml lucht in de gasmeetspuit zit en doe de kraan dicht.


3.13.

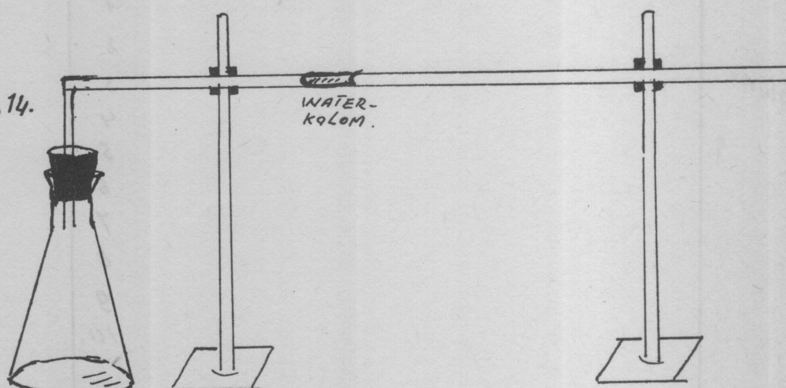
Bepaal het volume van de lucht in de gasmeetspuit wanneer er verschillende gewichten aan de zuiger hangen.
Zet je meetresultaten:
- overzichtelijk in een tabel
- in een diagram waarin druk en volume van de lucht in de meetspuit tegen elkaar zijn uitgezet



. Welk verband is er tussen het volume van de lucht in de meetspuit en de druk?
. Welke grootheid blijft bij deze proef onveranderd?

3. Verwarmen van lucht (1)

Met de opstelling in figuur 3.14. kun je nagaan hoe het volume van een hoeveelheid lucht afhangt van de temperatuur. De lucht die 'meedoet', zit in het glazenvat en in de horizontale plastic slang, links van de waterkolom die als beweeglijke zuiger dienst doet.

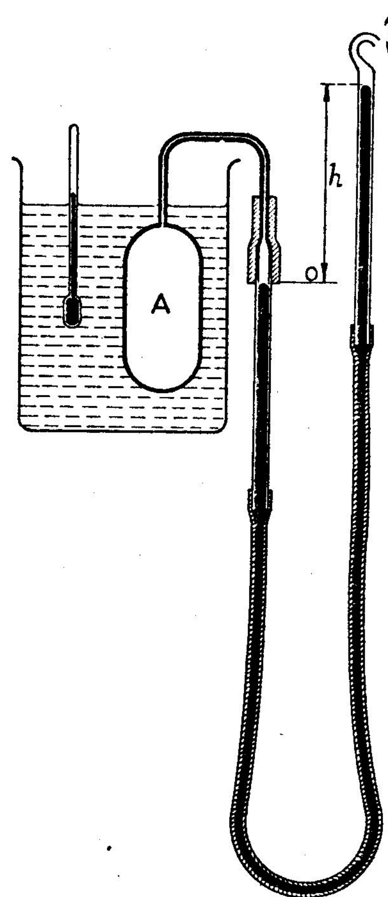


3.14

. Wel verband bestaat er volgens je meetresultaten tussen de temperatuur van de lucht en de lengte l?
. Maak een diagram waarin het volume van de lucht is uitgezet tegen de temperatuur overeenkomstig jouw meetresultaten.

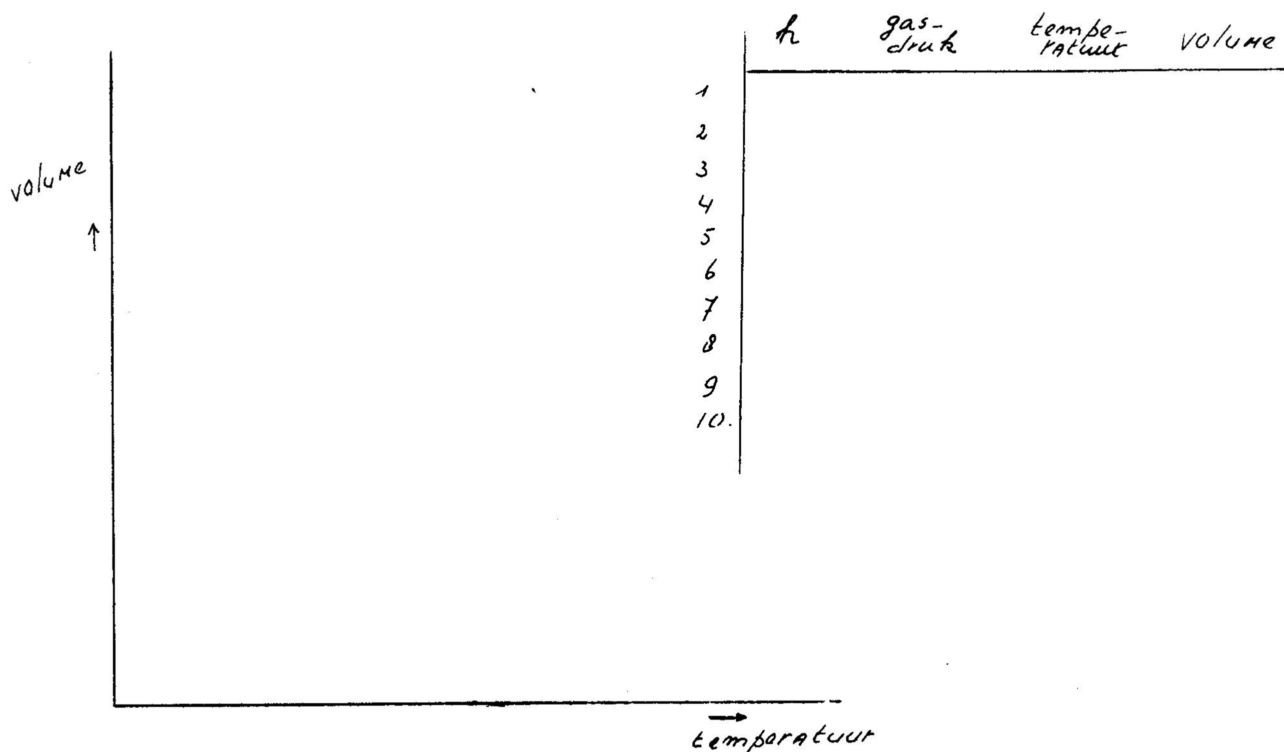
4. Verwarmen van lucht (2)

Je kunt de verandering van het volume van een gas met de temperatuur ook onderzoeken met het toestel in figuur 3.15
Het gas dat 'meedoet' is lucht die zich bevindt in de ruimte van de kolf in het bekerglas met water boven de linker kwikspiegel.
De druk van de lucht in de kolf houd je op dezelfde waarde, door te zorgen dat het hoogteverschil tussen de vloeistofspiegels (h) bij iedere meting gelijk blijft



3.15.

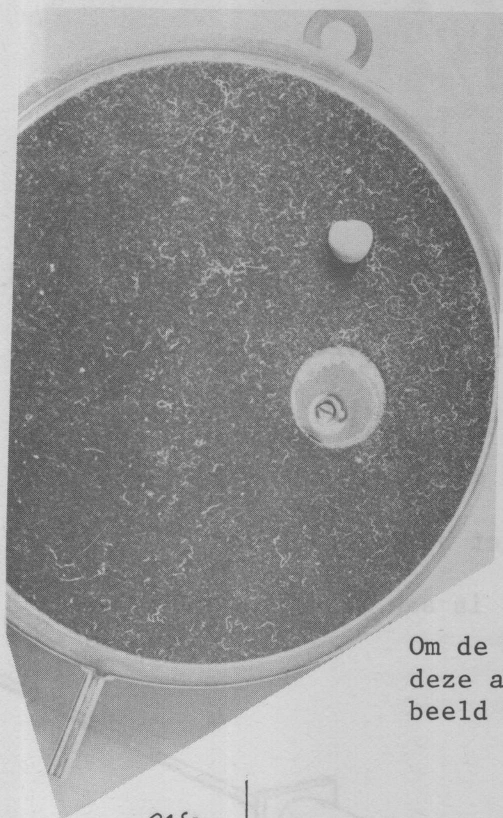
. Bepaal bij verschillende temperaturen - maar bij gelijkblijvende druk - het volume van de lucht in de kolf in de ruimte boven de linker kwikspiegel.
. Welk verband bestaat er volgens je waarnemingen tussen de temperatuur en het volume van een gas bij gelijkblijvende druk?

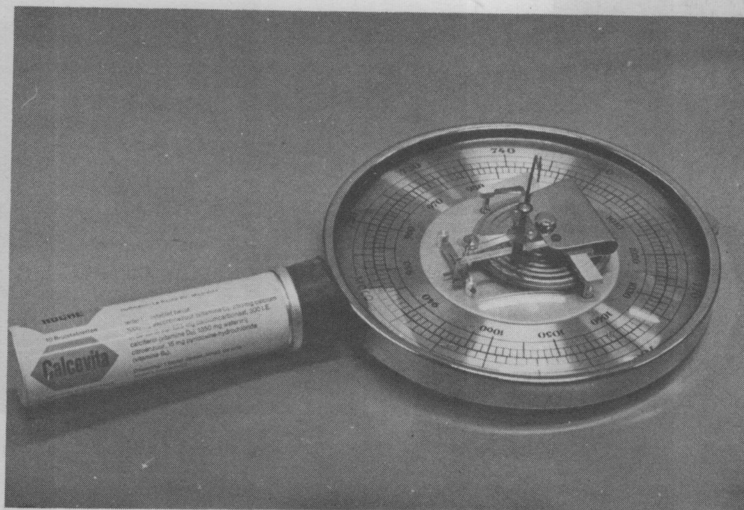


5. Verwarmen van lucht (3).

Op "zomerse dagen zie je wel eens dat men de banden van auto's afdekt tegen de zonnestraling;fietsstallingen bij zwembaden staan -als het goed is-op die plaatsen waarvan men weet dat daar zomers schaduw is.
Op spuitbussen staat de waarschuwing deze nagebruik niet in in een open vuur te gooien.

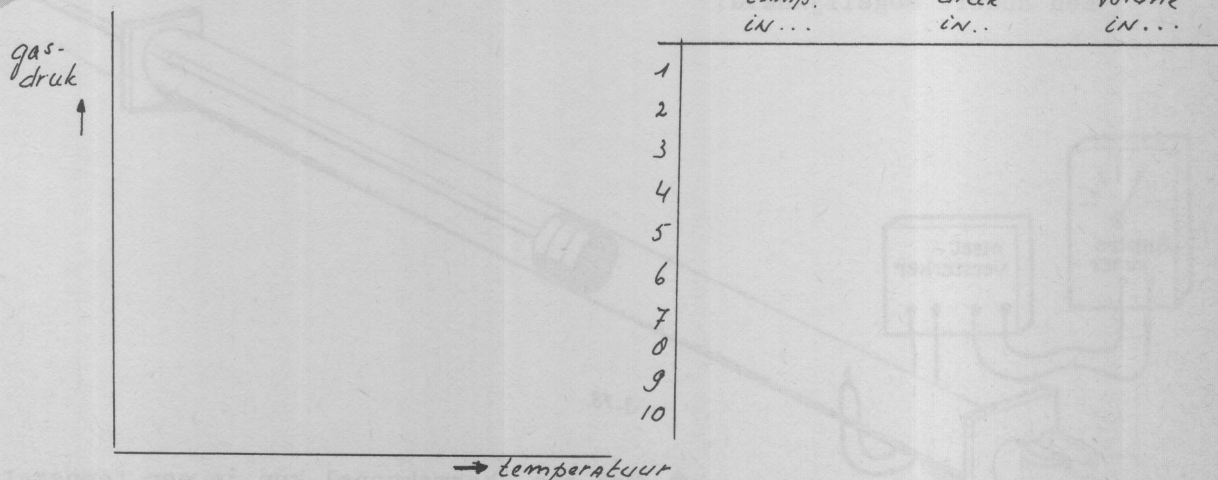
Met deze proef kun je onderzoeken hoe de druk van een hoeveelheid gas verandert met de temperatuur.
Door de lucht op te sluiten in een metalen busje en de drukverandering te meten met een metaalmanometer is de volumeverandering ervan voldoende klein voor ons doel.





3.16

Om de metaalbarometer als drukmeter te kunnen gebruiken moet deze aan de achterkant tijdelijk afgesloten worden,bijvoorbeeld met plasticine.

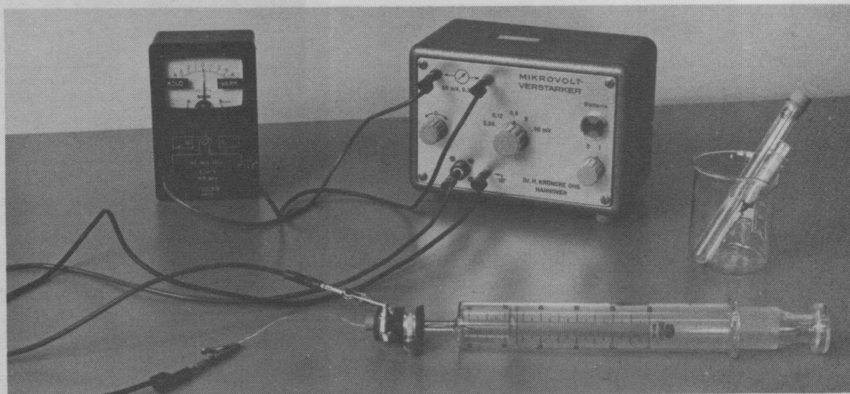


Bepaal hoe de druk van het gas-de lucht in het busje- verandert met de temperatuur bij gelijkblijvend volume.

D. TEMPERATUURSVERANDERINGEN BIJ SNELLE VOLUMEVERANDERINGEN

In deze proef gaan we na wat er met de temperatuur van een hoeveelheid gas gebeurt die - snel - van volume wordt veranderd.

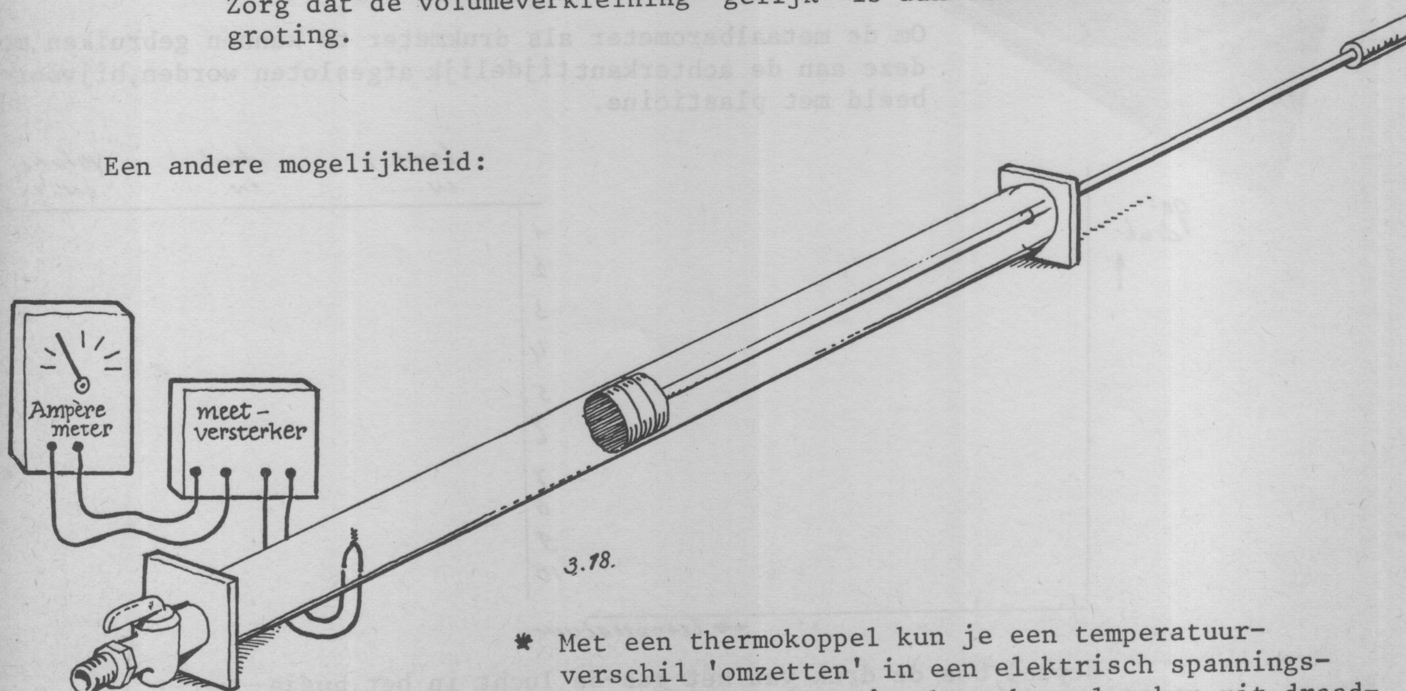
Voor de proef heb je een gasmeetspuit nodig.
Het uiteinde van de spuit is afgesloten door een kurk waar de aansluitdraden van een thermokoppel* - een temperatuurgevoelig element - doorheen steken.
Het thermokoppel bevindt zich "in" de gasmeetspuit en is aangesloten op een stroommeter via een meetversterker.



3.17.

Breng in de gasmeetspuit 20 ml lucht en een hoeveelheid silicagel.
Wacht ± 5 minuten zodat de waterdamp uit de lucht is verwijderd.
Bepaal nu de temperatuurverandering in de lucht wanneer je die snel samenperst.
Doe dit ook wanneer je uitgaande van het beginvolume de lucht snel 'uitrekt'.
Zorg dat de volumeverkleining 'gelijk' is aan de volumevergroting.

Een andere mogelijkheid:



3.18.

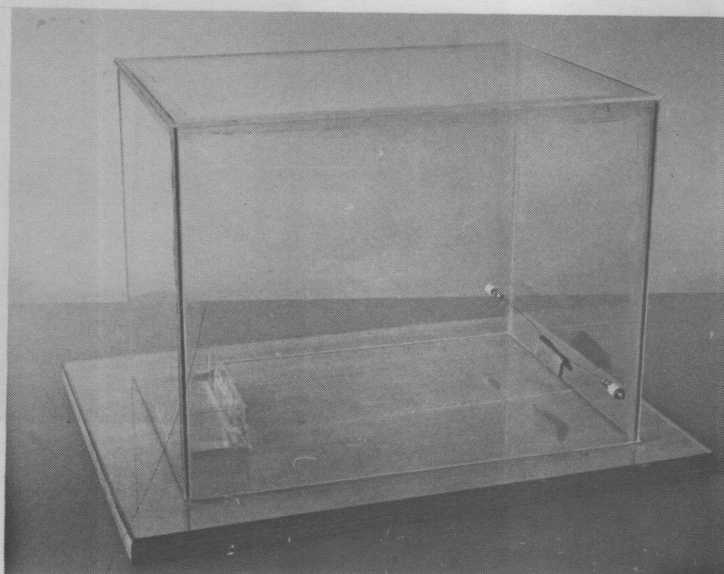
* Met een thermokoppel kun je een temperatuurverschil 'omzetten' in een elektrisch spanningsverschil. Je kunt zo'n thermokoppel maken uit draadjes van twee verschillende metalen.

E. DE STROMING VAN LUCHT; EEN MODELPROEF

Eén van de oorzaken van de verplaatsingen van lucht in de atmosfeer is het verschil in temperatuur op verschillende plaatsen op aarde en op verschillende hoogten boven het aardoppervlak.
De proeven over de massa - van lucht - die zich bij verschillende temperaturen en dezelfde druk bevindt in een volume van 1 l en de proeven over de 'gaswetten' hebben je al aanwijzingen gegeven over hoe één en ander met elkaar samenhangt.

De stroming van de lucht ten gevolge van verschillen in temperatuur kun je nauwkeuriger bekijken met behulp van de 'modelkamer'.

1. Stromingen in 'droge' lucht



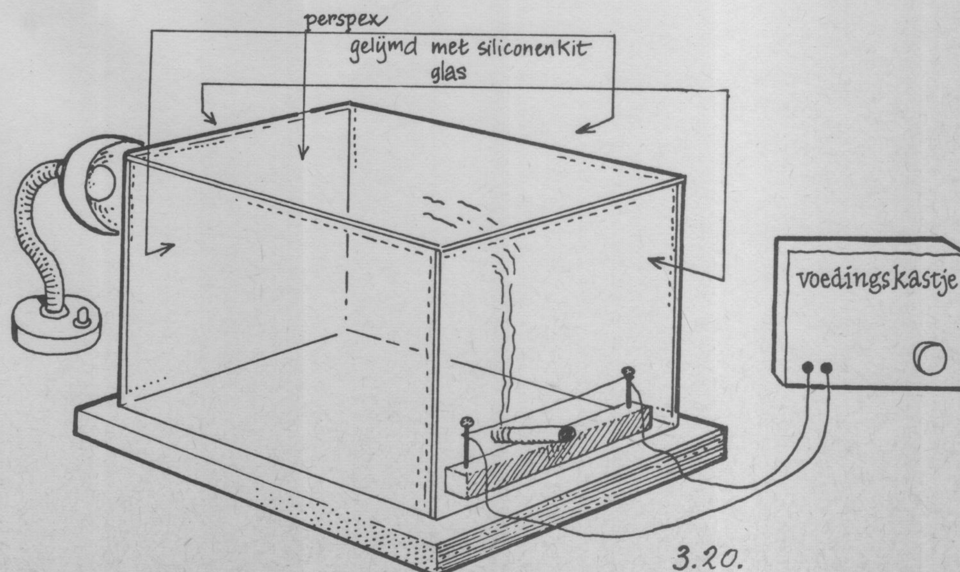
3.19.

In de 'modelkamer' kun je de bewegingen in droge lucht bekijken die het gevolg zijn van temperatuurverschillen in de ruimte in de kamer.

Wanneer je een 'ruitertje' van karton op de gloeidraad zet en langzaam de stroomsterkte in de draad vergroot, zal het karton gaan smeulen en krijg je een rookontwikkeling.
De rook maakt de bewegingen van de lucht, die door de gloeidraad wordt verwarmd, zichtbaar.
Door aan de tegenovergestelde kant van de draad een bakje met ijswater te plaatsen kun je zorgen dat er ook een 'behoorlijk koude' plaats in de ruimte is waarin de lucht circuleert.

Stel de stroomsterkte in de gloeidraad zo in dat je een regelmatige, niet te sterke rookontwikkeling krijgt.

- Geef in een tekening aan hoe de stroming van de lucht verloopt
- Schrijf op welke verschijnselen je niet 'begrijpt' en bespreek die in de groep

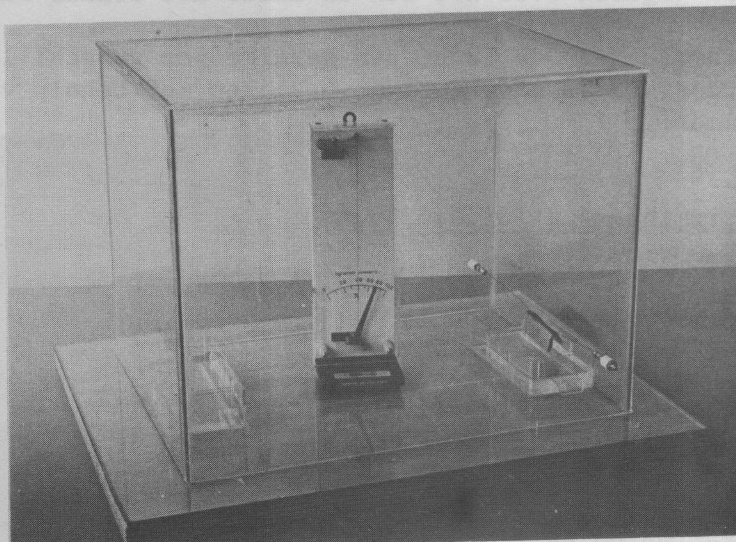


3.20.

2. Stroming in vochtige lucht

In de 'modelkamer' kun je nagaan welke verschijnselen zich afspelen in een ruimte waarin vochtige lucht aanwezig is en waar temperatuurverschillen heersen.

Zet vlak bij de ene glasruit een langwerpig bakje gevuld met warm water (± 60 °C) en bij de andere glasruit een bakje met ijswater, op de bodem van de kamer neer.



3.21.

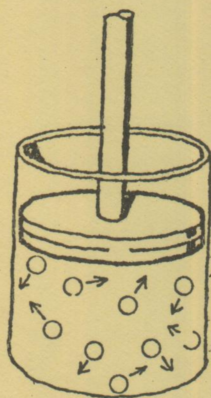
Bekijk de bewegingen van de vochtige lucht in de kamer; let vooral op de verschijnselen die zich afspelen op de wanden van glas en van perspex.
Ga ook na wat er gebeurt als er een stroom loopt door de gloeidraad.

Verwijder, als de kamer goed gevuld is met vochtige lucht, het bakje met warm water.
Plaats een ruitertje van karton op de gloeidraad en ga na wat er gebeurt als je stroom door de gloeidraad laat lopen.

. Maak een kort verslag van de verschijnselen die je hebt waargenomen
. Bespreek in je groep de verschijnselen die jij niet denkt te kunnen verklaren.

HOOFDSTUK 4

THEORIE OVER LUCHT



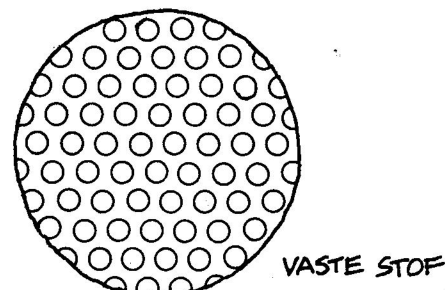
theorie over lucht

HOOFDSTUK 4

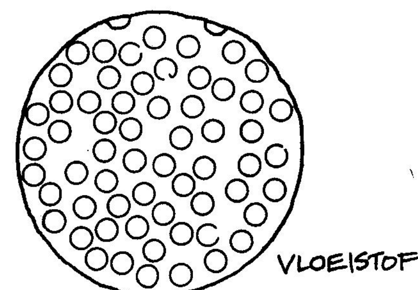
THEORIE OVER LUCHT

4.1. Een model voor lucht

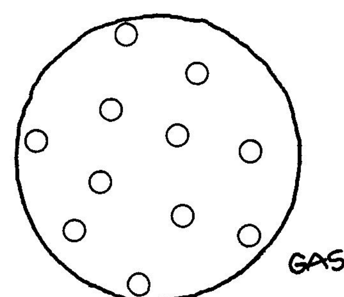
In het thema 'MATERIALEN' hebben we eigenschappen van vaste stoffen onderzocht: zwaarte, sterkte, warmtegeleiding en elektrische geleiding. Bij de verklaring van die eigenschappen hebben we gewerkt met een *model*: ieder stuk vast materiaal stelden we ons voor als een verzameling *deeltjes*. Die deeltjes vormen bepaalde, vaak heel regelmatige patronen; ze blijven in dat vast patroon door de krachten waarmee ze elkaar aantrekken.



In dit thema, KRINGLOPEN, hebben we te maken met eigenschappen van lucht en water. Ook hier kunnen modellen je helpen om verschijnselen beter te begrijpen, om er meer verband tussen te zien. Een model voor water ligt tamelijk voor de hand; water kun je je voorstellen als een verzameling deeltjes die elkaar wel aantrekken, maar die toch heel makkelijk langs elkaar kunnen glijden. Als water verdampt gaan losse waterdeeltjes (watermoleculen) rondzwerven door de lucht.



Lucht is veel lichter, veel makkelijker doordringbaar, veel makkelijker samen te drukken dan water of steen. Een bijpassend model voor lucht is: een verzameling deeltjes, los van elkaar en met grote lege tussenruimten. In de scheikunde zou je ze moeten onderscheiden in verschillende soorten, zoals stikstofmoleculen en zuurstofmoleculen, maar dat hoeft hier niet. De proeven van het vorige hoofdstuk zouden dezelfde resultaten opleveren als je ze zou uitvoeren met zuivere stikstof of met zuurstof. Met waterdamp kan het wel anders gaan - daarover meer in hoofdstuk 7.

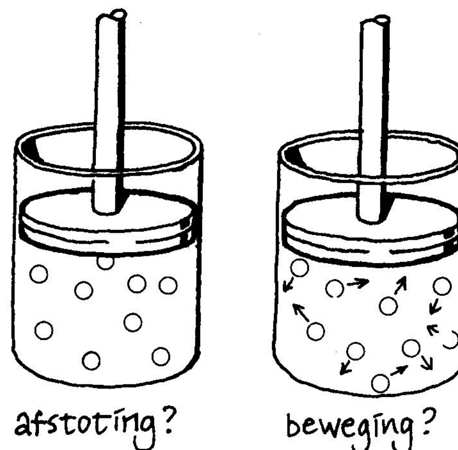


4.2. Een eindeloze chaos

Als lucht bestaat uit verspreide deeltjes, met grote lege ruimten ertussen, waarom kost het dan moeite om lucht samen te persen?
Daarover bestonden vanaf de tijd van Boyle (± 1650) tot wel tweehonderd jaar later twee verschillende opvattingen:

a. Lucht bestaat uit deeltjes die elkaar onderling afstoten. Als je ze dichter naar elkaar toe duwt, wordt die afstoting sterker: de druk van de opgesloten lucht wordt groter.

b. Lucht bestaat uit deeltjes die snel bewegen en daardoor heel vaak botsen tegen de wanden van het vat waar ze in zitten. Maak je de ruimte kleiner, dan botsen ze nog vaker tegen de wanden: de druk wordt groter.



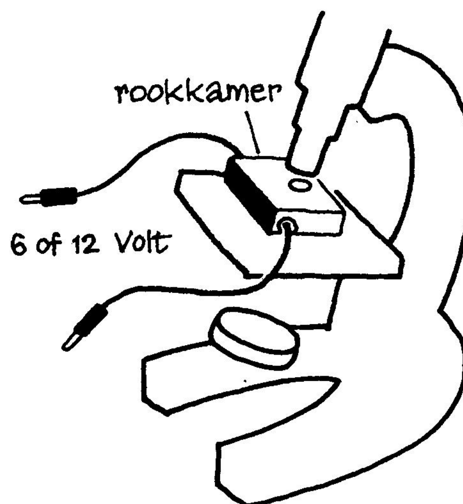
Hoe komt het nu dat de druk ook groter wordt als je het volume gelijk houdt, maar de temperatuur hoger maakt? Ook hiervoor waren twee verklaringen mogelijk.

a. Je voert warmte toe - dat is een soort stof die zich aan de luchtdeeltjes hecht en de onderlinge afstoting versterkt.

b. Bij hogere temperatuur bewegen de deeltjes sneller; de toegevoerde warmte is niet iets stoffelijks, maar energie.

In het thema "Materialen" hebben we al eens verband gelegd tussen hogere temperatuur en snellere beweging van deeltjes (in het hoofdstuk over warmtegeleiding, blz. 61 en 62). Daar ging het over vaste stoffen, waar de deeltjes trillen om een evenwichtstand.
Het is best moeilijk om je in te denken dat die deeltjes altijd maar blijven trillen en nooit tot rust komen. Bij gassen, volgens opvatting b, wordt je fantasie nog meer op de proef gesteld. Je zou moeten aannemen dat de luchtdeeltjes altijd maar blijven bewegen, steeds maar weer botsend tegen de wanden en vooral tegen elkaar - een eindeloze chaos, onvoorstelbaar.

Toch heeft de eerste opvatting (a) het afgelegd, want sommige verschijnselen waren er niet mee te verklaren. Een voorbeeld is de zogenaamde Brownbeweging, die je kunt zien als je rook (opgesloten in een doorzichtige 'rookkamer') onder een microscoop bekijkt. Rook bestaat uit brokjes roet en ander vuil - die brokjes blijken voortdurend vreemde, schoksgewijze bewegingen uit te voeren. Dat is een duidelijke aanwijzing dat er voortdurend tegenaan gestoten wordt door luchtdeeltjes.



. De kleinste brokjes rook bewegen het heftigst. Hoe verklaar je dat?

4.3. De wet van Boyle

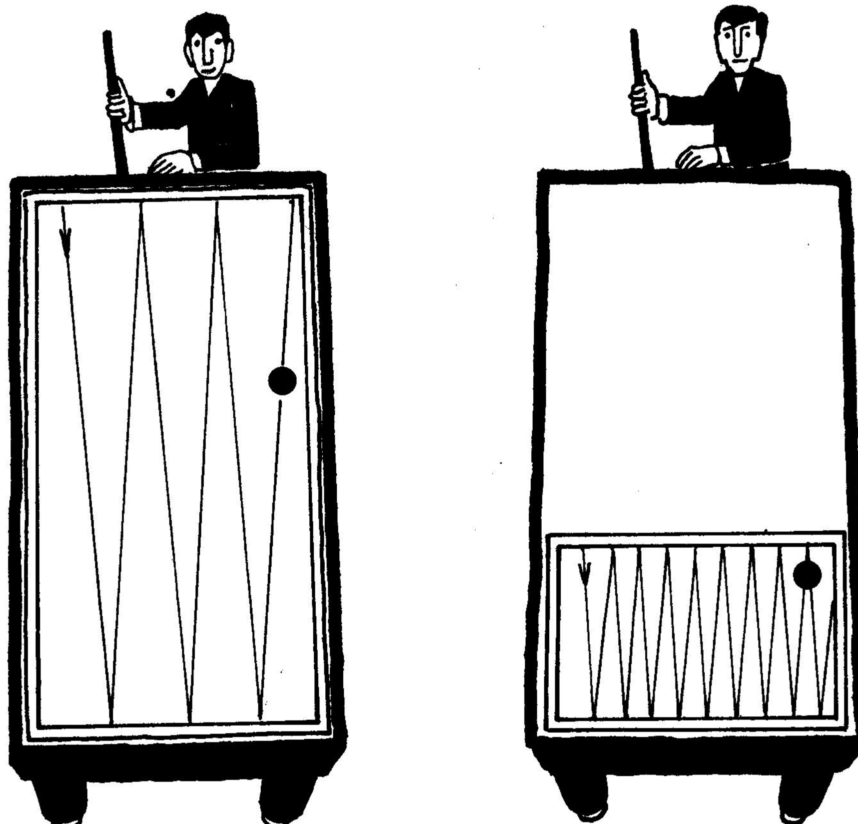
Experimenteel hebben we al onderzocht wat er met het volume van een afgesloten hoeveelheid lucht gebeurd bij verandering van de druk. Uit de meetresultaten kun je de relatie vinden die bekend staat als de wet van Boyle: *het produkt van spanning en volume is constant.*

Als je twee toestanden met elkaar vergelijkt
- een eerste toestand met druk p_1 en volume V_1
- een tweede toestand met druk p_2 en volume V_2 dan moet gelden

$$p_1V_1 = p_2V_2 \quad \text{mits de temperatuur constant is}$$

Klopt ons deeltjesmodel met deze wet? Is dit een wet die je volgens de theorie van bewegende deeltjes mag verwachten?
Het antwoord is ja, en het volgende voorbeeld geeft je een idee waardoor het precies zo uitkomt.

Stel je voor dat je een biljart zou hebben waarop een bal geen snelheid zou verliezen, niet bij het rollen en niet bij het botsen.
Stel verder dat je op een ogenblik dat de bal bij AB is ineens de 'band'CD dichter bij AB zou brengen, b.v. op driemaal zo kleine afstand.
De bal zou in de nieuwe situatie nog even vrolijk aan het rollen blijven maar
- de weg die de bal telkens aflegt tussen AB en CD is driemaal zo klein geworden. AB en CD krijgen nu driemaal zo vaak een stoot; de "druk" is driemaal zo groot geworden.
- de weg die de bal telkens aflegt tussen AD en BC is niet veranderd, dus AD en BC krijgen even vaak een stoot als vroeger, maar die stoten moeten worden opgevangen door een driemaal zo korte band. De "druk" is ook hier driemaal zo groot geworden



Met een soortgelijke redenering, maar dan wel nauwkeuriger uitgewerkt, is de wet van Boyle af te leiden uit het deeltjesmodel. Daarbij wordt verondersteld dat voor de beweging van die onzichtbaar-kleine deeltjes dezelfde begrippen en regels gelden als voor de beweging van zichtbare dingen als auto's of biljartballen. Met die begrippen en regels heb je al kennis gemaakt in het thema "Verkeer en Veiligheid".
Bij botsingen van auto's, en ook van luchtdeeltjes, gaat het om veranderingen van de impuls mv en de kinetische energie $\frac{1}{2}mv^2$. Maar in tegenstelling tot auto's moeten luchtdeeltjes *volkomen elastisch* zijn: ze botsen met elkaar zonder hun kinetische energie te verliezen. Wat het ene deeltje aan bewegingsenergie kwijtraakt, krijgt het andere erbij.

4.4. Verwarming door samenpersen

Als je een afgesloten hoeveelheid lucht langzaam samenperst tot eenderde van zijn volume, blijft de temperatuur constant en wordt de druk driemaal zo groot. Maar als je het samenpersen *snel* uitvoert, krijg je een temperatuurstijging en daarmee een extra drukverhoging.

Ook dit verschijnsel is met het deeltjesmodel te verklaren. Neem als voorbeeld maar weer het biljart met de verschuivende band CD. Wanneer een biljartbal tegen CD botst, *terwijl CD naar hem toe beweegt*, krijgt hij 'een tik mee'; na zo'n botsing is de snelheid groter dan ervoor.

In het geval van een hoeveelheid lucht die je snel samenperst, zijn er miljarden deeltjes die tegen de zuiger botsen, *terwijl die naar hun toe beweegt*. Die deeltjes krijgen daardoor wat bewegingsenergie extra en doordat de deeltjes ook telkens met soortgenoten botsen, raakt de extra energie verdeeld over de lucht in de hele cilinder.

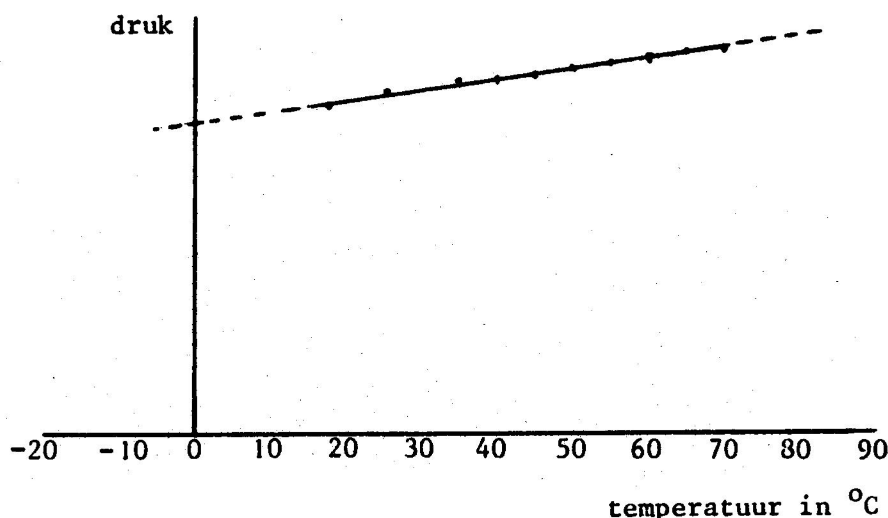
. Bij het uitvoeren van de proef zie je meteen na het samenpersen van de lucht de temperatuur teruglopen. Hoe komt dit?
. Als je het volume van een afgesloten hoeveelheid lucht *snel vergroot*, daalt de temperatuur van die lucht. Verklaar dit.

4.5. Drukstijging bij temperatuurstijging

Uit de proeven in het vorige hoofdstuk weet je al wat er gebeurt wanneer je een afgesloten hoeveelheid lucht verhit zonder die te laten uitzetten:

de druk neemt toe, en wel regelmatig: met iedere graad temperatuurstijging evenveel.

Als je de druk tegen de temperatuur uitzet in een grafiek, krijg je een rechte lijn.



Deze wet is omstreeks 1800 gevonden door Gay-Lussac en later door andere natuurkundigen verklaard met de deeltjestheorie. Volgens die theorie wordt bij temperatuurstijging de snelheid van de deeltjes groter. Daardoor zullen die deeltjes
a. vaker tegen de wanden botsen
b. harder tegen de wanden botsen
De snelheidsvergroting heeft dus op twee manieren een drukvergroting tot gevolg. Als je weer het voorbeeld van een biljartbal bekijkt, kun je nagaan dat bij een verdubbeling in de snelheid het aantal botsingen (in een gegeven tijd) verdubbeld wordt. Bovendien is de verandering van de impuls (mv) per botsing ook dubbel zo groot.

Verder uitwerken van de theorie geeft als resultaat:

de druk van een gas is evenredig met de gemiddelde kinetische energie ($\frac{1}{2} mv^2$ *) van de deeltjes*

Aan de druktoename van lucht bij verhitting kun je dus de energietoename van de deeltjes 'zien'. Nu bleek de druk bij iedere graad temperatuurstijging evenveel toe te nemen (volgens de wet van Gay-Lussac). Volgens de deeltjestheorie is er dus *een rechtstreeks verband tussen de temperatuur en de gemiddelde kinetische energie van de deeltjes.*

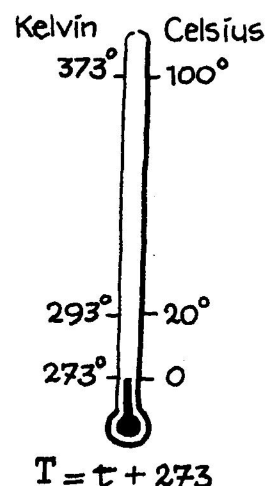
4.6. De absolute temperatuurschaal

Als je een afgesloten hoeveelheid lucht steeds verder afkoelt, bij constant volume, dan wordt de druk steeds kleiner. Lucht afkoelen is energie onttrekken aan de deeltjes: hun snelheden worden kleiner; ze botsen minder vaak en minder hard tegen de wanden.

Stel dat je steeds verder zo door zou gaan. *Dan zouden de deeltjes tenslotte al hun bewegingsenergie kwijt zijn. Ze zouden niet meer tegen de wanden botsen: de druk zou nul zijn. Je zou het absolute nulpunt bereikt hebben: een lagere temperatuur zou niet mogelijk zijn.*

Met de wet van Gay-Lussac kun je vinden, door de grafiek door te trekken naar lage temperaturen, dat het absolute nulpunt moet liggen bij 273 graad Celsius beneden het gewone nulpunt (het smeltpunt van ijs).

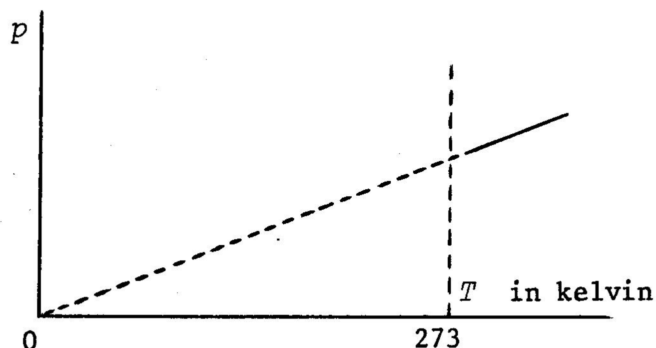
Voor wetenschappelijk werk wordt vaak gerekend vanaf het absolute nulpunt; men spreekt zou van de absolute temperatuur en drukt die uit in kelvin.



absolute temperatuur (T) = celsiustemperatuur (t) + 273

4.7. De algemene gaswet

Bekijk nu nog eens de grafiek van druk tegen temperatuur bij constant volume. Als je langs de horizontale as de absolute temperatuur uitzet in plaats van de celsiustemperatuur, krijg je een rechte lijn die (bij verlenging) door het punt T=0; p=0 gaat. Dit betekent:



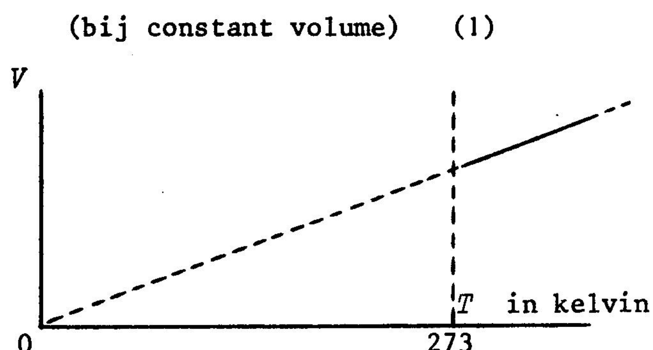
de druk is rechtevenredig met de absolute temperatuur

Dit kunnen we als volgt uitdrukken in een formule. Vergelijken we
- een toestand met druk p_1 bij de temperatuur T_1, en
- een toestand met druk p_2 bij de temperatuur T_2,

dan moet gelden

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \qquad \text{(bij constant volume)} \qquad (1)$$

Je kunt ook een afgesloten hoeveelheid lucht zo verwarmen dat de druk constant blijft. Dan neemt het volume toe; de grafiek van het volume tegen de absolute temperatuur wordt een rechte lijn door het punt $T = 0$, $V = 0$. Dit betekent:



het volume is rechtevenredig met de absolute temperatuur

of, als we weer twee toestanden, "1" en "2", vergelijken

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad \text{(bij constante druk)} \qquad (2)$$

Eerder hadden we al de wet van Boyle

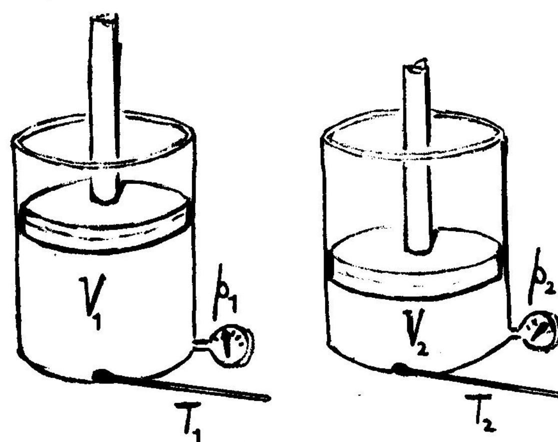
$$p_1V_1 = p_2V_2 \qquad \text{(bij constante temperatuur)} \qquad (3)$$

De drie wetten, die hierboven aangeduid zijn met (1), (2) en (3), kunnen we nu samenvatten in één enkele wet

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_1}$$

Dit wordt ook wel uitgedrukt als

$\frac{pV}{T}$ is constant.



Dit is de *algemene gaswet*, niet alleen geldig voor een afgesloten hoeveelheid lucht, maar voor ieder gas. De enige voorwaarde is dat het aantal gasdeeltjes niet verandert.

Voorbeeld: in een cilinder is 5,0 dm^3 lucht opgesloten met een druk van $1,2 \times 10^5$ N/m^2 en een temperatuur van 27 °C. Het volume van de lucht wordt verkleind tot 2,5 dm^3 en de temperatuur wordt verhoogd tot 127 °C. Hoe groot is de druk de eindtoestand?
(Antwoord $3,2 \times 10^5$ N/m^2; controleer dit zelf - denk eraan dat je de absolute temperatuur moet gebruiken).

4.8. De dichtheid van lucht

Uit de proeven in het vorige hoofdstuk is gebleken dat een dm^3 lucht 1,3 gram weegt, *onder normale omstandigheden*. Dat laatste moet er wel bij, want een dm^3 sterk samengeperste lucht is heel wat zwaarder. En ook de temperatuur heeft invloed: een dm^3 koude lucht is zwaarder dan een dm^3 hete lucht bij dezelfde druk.

Maar wat noem je 'normale omstandigheden'? Daar is een afspraak over gemaakt: een temperatuur T_o=273 K (0 °C) en een druk p_o=$1,013 \times 10^5$ N/m^2 = 76 cm kwikdruk. Stel nu dat je de massa moet weten van een liter lucht van 20 °C bij een druk van 72 cm kwik. Je kunt dan kiezen uit drie mogelijkheden

a. een proef doen met lucht van de gegeven temperatuur en druk
b. met behulp van de algemene gaswet uitrekenen wat het volume (V_o) van die dm^3 lucht zou worden bij de temperatuur T_o en de druk p_o
(antwoord: 0,88 dm^3 , dus de massa is 0,88 x 1,3 = 1,14 gram)
c. opzoeken in een tabel als hieronder

druk / temp.	72 cm kwik	74 cm kwik	76 cm kwik	78 cm kwik
-20 °C	1,31	1,35	1,39	1,43
-10 °C	1,27	1,31	1,34	1,38
0 °C	1,23	1,26	1,29	1,33
10 °C	1,18	1,22	1,25	1,28
20 °C	1,14	1,17	1,21	1,24
30 °C	1,10	1,13	1,17	1,20

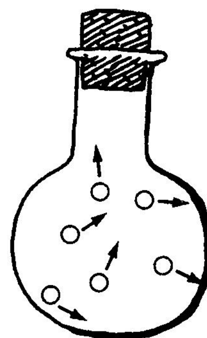
1 cm kwikdruk = $1,33.10^3$ N/m^2 = 13,3 millibar

dichtheid (soortelijke massa) van droge lucht, in gram per dm^3 ofwel kilogram per kubieke meter

4.9 De zwaarte van lucht

Als je de massa van een dm^3 lucht bepaalt door weging, maak je gebruik van de zwaartekracht. Een kolf met lucht wordt door de aarde blijkbaar iets sterker aangetrokken dan een kolf zonder lucht.

Toch eigenlijk vreemd, als je bedenkt dat de lucht in de kolf bestaat uit een menigte los rondvliegende deeltjes. Hoe kun je zoiets wegen?



Het antwoord is met de deeltjestheorie wel te geven, maar niet eenvoudig. Het komt in grote lijnen hierop neer: door de werking van de zwaartekracht zitten onderin de kolf iets meer deeltjes per kubieke centimeter dan bovenin. (In de atmosfeer vind je dit verschijnsel in het groot: in de onderste luchtlagen is de 'bevolkingsdichtheid' groter dan hogerop). De deeltjes onderin de kolf geven per seconde meer stootjes tegen de wand dan de deeltjes bovenin. Er zijn dus meer naar beneden gerichte stootjes dan naar boven gerichte En de netto kracht die de kolf daardoor ondervindt, blijkt precies gelijk aan de kracht waarmee de aarde alle luchtdeeltjes aantrekt. Het maakt voor je weging geen verschil of de luchtdeeltjes rondvliegen of dat ze stil op de bodem van de kolf zouden liggen.

HOOFDSTUK 5

DE ATMOSFEER: KRINGLOOP VAN DE LUCHT

uitdijing
geeft
afkoeling

warme
luchtbel



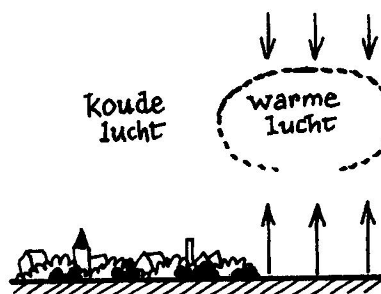
de atmosfeer: kringloop van de lucht

DE ATMOSFEER: KRINGLOOP VAN DE LUCHT

5.1. Warme lucht stijgt op

Op een zonnige zomerdag kunnen zweefvliegers mooi gebruik maken van 'thermiek': het opstijgen van verwarmde lucht. Ook vogels laten zich soms door opstijgende lucht meevoeren omhoog. De geschikste plaatsen zijn die waar de grond het sterkst verwarmd wordt - want het is die verwarmde bodem die op zijn beurt de lucht verwarmt.

Maar hoe komt het eigenlijk dat verwarmde lucht opstijgt? De aantrekkingskracht van de aarde blijft even goed werken als de lucht warmer wordt. Er moet dus nog een andere kracht zijn, die de warme lucht omhoog duwt, tegen de werking van de zwaartekracht in.
Waardoor wordt die *opwaartse kracht* veroorzaakt? Om de oorzaak te vinden moet je bedenken dat de warme lucht niet zou opstijgen als de lucht eromheen even warm zou zijn. Je moet warme lucht hebben in een koudere omgeving.



Stel je voor dat in een koude luchtlaag een warme lucht'bel' zweeft. De koude lucht duwt van alle kanten tegen die luchtbel aan, maar tegen de onderkant wat harder dan op de bovenkant (de luchtdruk wordt immers naar boven toe kleiner). De resulterende kracht is dus naar boven gericht - dat is de opwaartse kracht, die we zochten.

Kun je nu ook begrijpen dat een warme luchtbel inderdaad omhoog geduwd wordt? Als je de warme luchtbel zou vervangen door een even groot volume koude lucht (even koud als de lucht eromheen) zou er evenwicht zijn. Deze luchtbel zou precies gedragen worden door de lucht eromheen: zijn gewicht zou even groot zijn als de opwaartse kracht. Maar een warme luchtbel met hetzelfde volume weegt minder - dus het gewicht daarvan is kleiner dan de opwaartse kracht.

Warme lucht wordt dus omhoog geduwd door koude lucht - de koude lucht 'kruipt eronder'. En op die manier gaat lucht circuleren
- in het klein: in een kamer met een kachel of radiator als warmtebron
- in het groot: boven velden en meren die in verschillende mate door de zon verwarmd worden
- in het zeer groot: geweldige luchtstromingen over oceanen en continenten

5.2. Opstijgende lucht koelt af

Warme lucht stijgt op - maar waarom is het dan niet warmer bovenin de atmosveer dan beneden? Hoe raakt de opstijgende lucht warmte kwijt?
Misschien door afgifte aan de koude lucht eromheen? Maar dan zou je ook een flinke opwarming van de hogere luchtlagen mogen verwachten.

Laten we nog eens een warme 'luchtbel' in gedachten nemen. Er ontstaan op een zonnige dag echt van die 'luchtbellen': de lucht boven een heideveld b.v. wordt flink opgewarmd en het kan een tijdje duren voordat koudere lucht uit de omgeving eronder kruipt. Dan stijgt die warme luchtbel ineens vrij snel op, zodat hij niet veel kans krijgt om warmte af te staan aan de hogere luchtlagen. Maar die hogere luchtlagen hebben niet alleen een lagere temperatuur - *ze hebben ook een lagere druk*. Daardoor zal de opstijgende luchtbel uitdijen; de druk moet gelijk blijven aan de druk van de omgeving.

uitdijing geeft afkoeling

warme luchtbel



En dit is de oplossing van het probleem: uit de proeven van hoofdstuk 3 weet je dat lucht door snelle volumevergroting afkoelt. In de atmosfeer veroorzaakt dit een temperatuurdaling van ongeveer 1 graad per 100 meter. Een luchtbel die opstijgt tot 2000 meter hoogte koelt daardoor ongeveer 20 °C af.
De opstijging houdt op wanneer de temperatuur van de luchtbel even laag is geworden als die van de lucht eromheen.

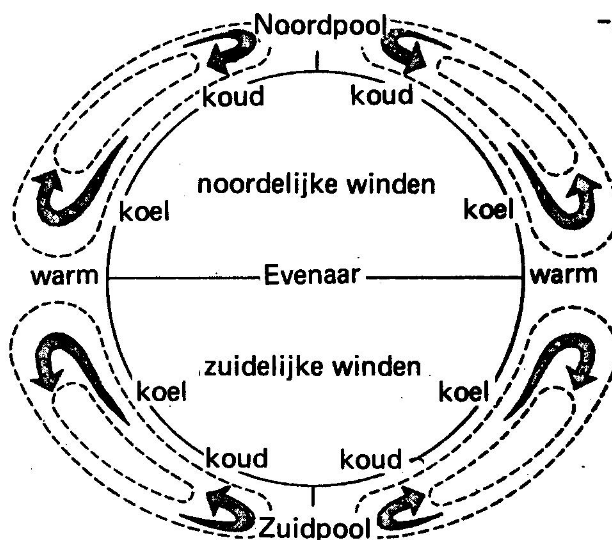
De afkoeling van opstijgende luchtbellen kan leiden tot condensatie van waterdamp, dus tot vorming van wolken. Op een zomerse dag vormen zich vaak 'stapelwolken' die door hun vorm iets laten zien van hun ontstaan uit opstijgende 'luchtbellen'.

Het omgekeerde kan ook voorkomen:koude lucht die naar beneden 'zakt', stijgt in temperatuur. En soms is die temperatuurstijging voldoende om aanwezige waterdruppeltjes te laten verdampen.

5.3. De algemene circulatie

De aarde ontvangt voortdurend energie van de zon, door absorptie van straling, maar verliest ook voortdurend energie door uitstraling naar de wijde wereldruimte. De temperatuur van de aarde zal zich zo instellen dat verlies en winst elkaar in evenwicht houden.

Maar verlies en winst zijn ongelijk over de aarde verdeeld. De streken bij de evenaar ontvangen veel meer zonnestraling per vierkante meter dan de poolstreken.

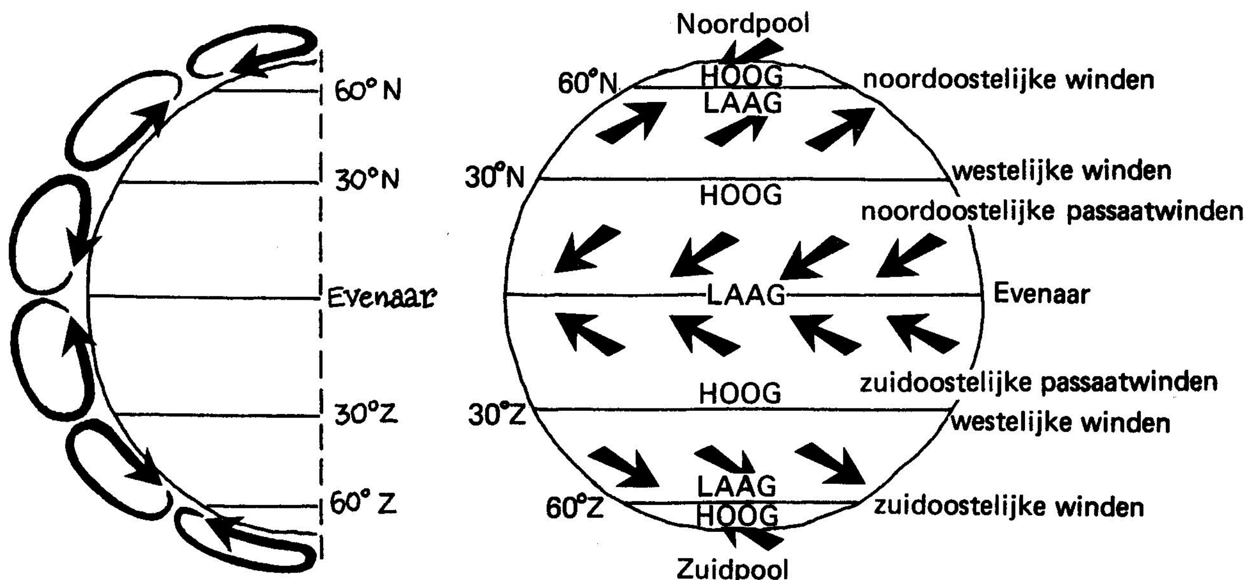


Het gevolg moet zijn dat rondom de evenaar geweldige hoeveelheden verwarmde lucht opstijgen en bovenin de atmosfeer uitvloeien naar het noorden en zuiden. Vanuit de poolstreken moet koude lucht onderin de atmosfeer toestromen naar de tropen. Bij ons moet dus voortdurend een koude wind uit het noorden waaien. Maar dat is kennelijk niet zo, gelukkig.

Wat de situatie voor ons gunstiger maakt, maar ook ingewikkelder, is de dagelijkse draaiing van de aarde om haar as. Aan die draaiing doet de atmosfeer mee. En dit betekent dat de lucht aan de evenaar dagelijks een veel grotere cirkel moet beschrijven dan de lucht in de poolstreken. Lucht die van de polen in de richting van de evenaar stroomt, kan zich direct aanpassan bij het hogere draaitempo daar. Zo'n luchtstroom raakt flink achterop bij de draaiing van het aardoppervlak: hij krijgt een westwaartse afwijking.

Dit klopt al een stuk beter: de luchtstromingen die naar de evenaar bewegen vertonen die afwijking.
Winden waaien daar niet recht uit het noorden en zuiden, maar uit het noordoosten en zuidoosten. Het zijn de passaatwinden waarvan de zeilschepen vroeger dankbaar gebruik maakten (vandaar de engelse term 'trade winds').

Ook op een ander punt was het schema van zonet te simpel. De warme lucht die bij de evenaar opstijgt, stroomt niet door naar de polen maar daalt al in de buurt van 30° noorder- en zuiderbreedte. En de koude lucht die van de poolstreken komt stroomt niet door naar de evenaar, maar stijgt al in de buurt van 60° NB en ZB. Tussen de 'daalstroom' bij 30° en de 'stijgstroom' bij 60° vormt zich een aparte circulatie met overwegend zuidwestenwinden. In dat tussengebied wonen wij.



5.4. De complicaties

In werkelijkheid verlopen de luchtstromingen heel wat ingewikkelder dan volgens het bovenstaande schema het geval zou zijn. Bovendien veranderen ze telkens van plaats en sterkte. In sommige gebieden, vooral rondom de evenaar, kan de wind wel wekenlang uit dezelfde richting waaien, maar in onze streken zijn de luchtstromen nogal veranderlijk. Waardoor ontstaan die complicaties?

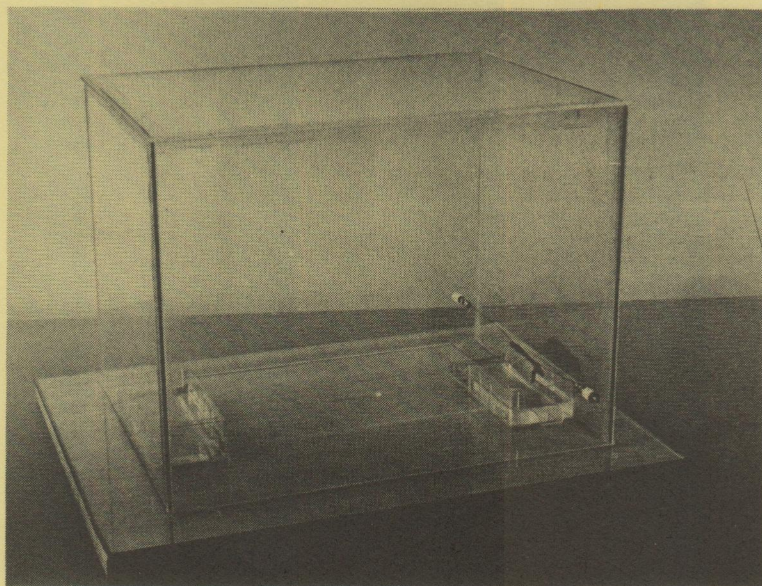
In de eerste plaats veroorzaakt de jaarlijkse loop van de aarde om de zon variaties in de 'stralingsbalans' per gebied. In de zomer ontvangen we per dag veel meer zonnestraling dan 's winters. Het maximum aan zonnestraling valt 's zomers een eind noordelijk van de evenaar, 's winters een eind naar het zuiden (waar het dan zomer is).

In de tweede plaats zijn zee en land heel verschillend in hun 'gedrag' bij bestraling door de zon. De zee laat zich niet zo snel opwarmen als het land, maar koelt ook minder snel af. Bovendien treden er grote stromingen van warm en koud water op. Het geheel wordt nog ingewikkelder doordat landoppervlakken en wateroppervlakken onregelmatig van vorm zijn en ongelijk verdeeld over de aarde.

En dan is er in de derde plaats de invloed van waterdamp en water in de atmosfeer. Als zich wolken en mist vormen, wordt de zonnestraling voor een groot deel tegengehouden (teruggekaatst de ruimte in). De waterkringloop heeft invloed op de begroeiing en de begroeiing heeft weer invloed op de absorptie van zonnestraling. Als een gebied met sneeuw bedekt raakt, absorbeert het heel weinig straling meer, zodat de lucht erboven erg koud kan worden. Al deze verschijnselen hebben te maken met de eigenschappen van water in zijn drie vormen: ijs, water en waterdamp, en met de omzettingen van de ene vorm in de andere.
Maar daarover meer in de volgende hoofdstukken.

HOOFDSTUK 6

ONDERZOEK AAN VOCHTIGE LUCHT



onderzoek aan vochtige lucht

ONDERZOEK AAN 'VOCHTIGE' LUCHT

In hoofdstuk 3 heb je experimenten gedaan om te bepalen welke eigenschappen lucht heeft en volgens welke wetten lucht zich gedraagt.
Met de gaswetten kun je een aantal verschijnselen die zich afspelen in de troposfeer al wat beter begrijpen.
Behalve het feit dat er sprake is van een kringloop van luchtmassa's in de atmosfeer kennen we ook het verschijnsel dat water vanaf de aarde 'verdwijnt' naar de lucht en dat uit de lucht - nogal eens - water weer terugkeert als regen, sneeuw, ijzel of mist maar het aardoppervlak.

In dit hoofdstuk doen we proeven met water, waterdamp en met vochtige lucht.

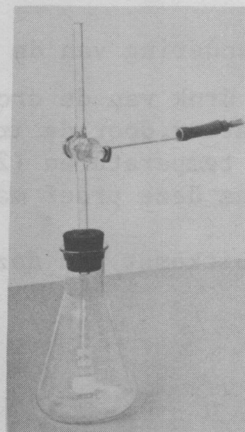
Er zijn proeven bij waarbij we nagaan hoe het zit met het water in de lucht om ons heen;metingen waaruit we het gehalte aan vocht in de atmosfeer kunnen afleiden.

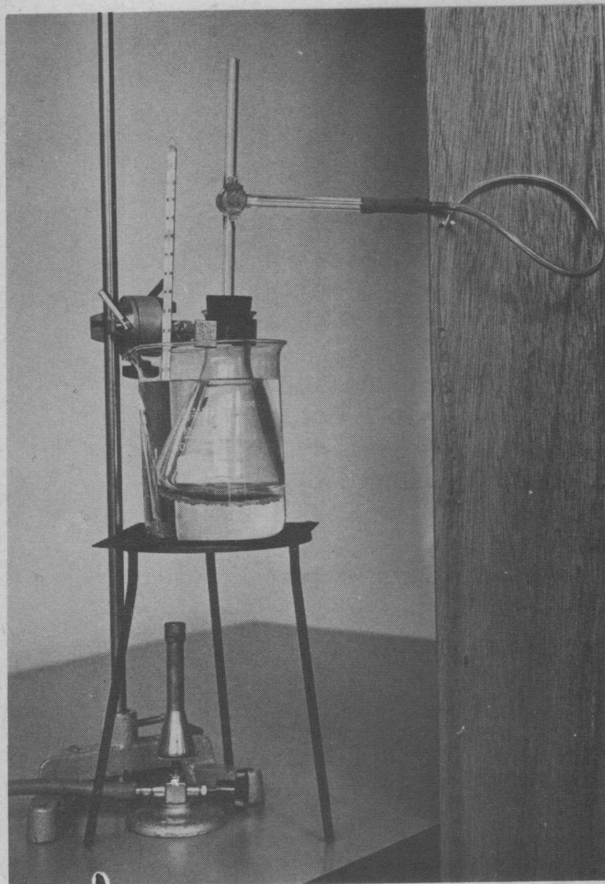


Er zijn proeven bij waarin we een hoeveelheid water en waterdamp of een hoeveelheid lucht en waterdamp-opgesloten in een ruimte-onderzoeken.

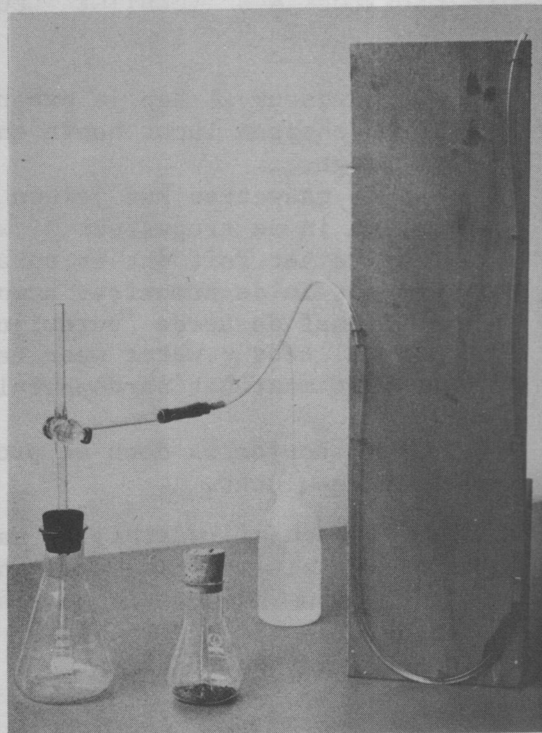
1. De gasdruk in een mengsel van waterdamp en lucht

De opstelling die je nodig hebt bestaat uit:
- een glazen vat, b.v. een erlenmeyer, voorzien van een stop met kraan
- een vloeistofmanometer, b.v. een stuk plastic slang als U-buis op een plankje bevestigd en olie als meetvloeistof
- een hoeveelheid silicagel of een andere stof die waterdamp absorbeert





6.1.



6.2.

Met deze opstelling kun je een aantal proeven doen met de lucht uit het lokaal.

a. de druk van de waterdamp uit de lucht (6.1.)

Sluit de erlenmeyer, gevuld met 'gewone lucht' aan op de vloeistofmanometer zó dat de druk in de erlenmeyer gelijk is aan de luchtdruk in het lokaal.
Breng dan een flinke hoeveelheid silicagel (± 5 g) in het vat en ga na wat er met de gasdruk gebeurt. Laat minstens 5 minuten de silicagel in de erlenmeyer voordat je de proef beëindigt.

b. de drukverandering van de lucht met de temperatuur (6.2.)

Bepaal hoe de druk van de droge lucht (zie proef a.) verandert met de temperatuur, door de erlenmeyer te plaatsen in water van verschillende temperaturen (20 °C, 30 °C, 40 °C en 50 °C).
Let op: tijdens deze proef mag er geen silicagel in de kolf zitten.
Vergelijk de uitkomst van deze meting met die uit proef c.

c. de maximum druk van waterdamp in de lucht

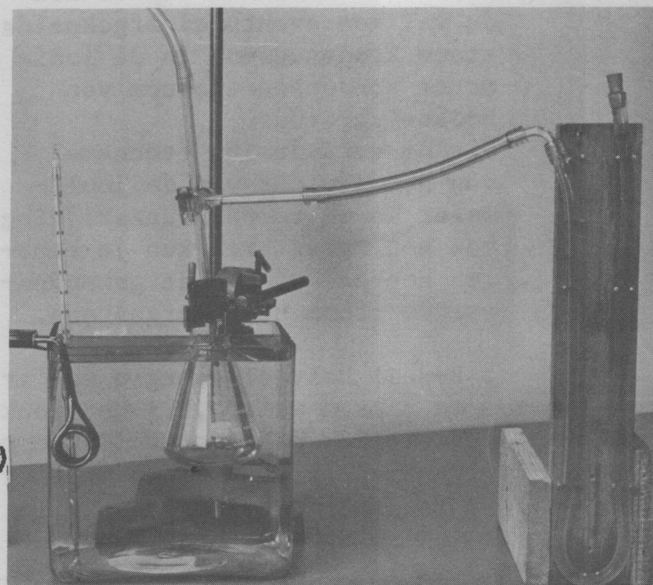
Zorg dat je beschikt over een kolf gedroogde lucht (zie proef a)die is aangesloten op de manometer.
Breng snel 10 ml water in de kolf en sluit hem weer aan op de manometer.
Bepaal na ± 2 minuten wachten, de druk in de erlenmeyer.
Bepaal bij dezelfde temperaturen als in b. de druk van het gasmengsel in de erlenmeyer.
Let op: zorg dat je bij iedere temperatuur ± 2 minuten wacht voordat je de manometer afleest.

- Hoe kun je uit de resultaten van proef b en c nagaan hoe de druk van de waterdamp in de lucht met de temperatuur verandert?
- Bedenk een verklaring voor de veranderingen van de druk in proef a, b en c.

2. De maximale druk van waterdamp

Voor deze proef heb je nodig:

- een erlenmeyer met passende stop en een driewegkraan,
- een vloeistofmanometer die geschikt is om lage gasdrukken (<1 atm.) te meten
- een luchtpomp of een waterstraalpomp
- een stevig conservenblik waar de erlenmeyer in past(aquariumbak)
- een verwarmingselement en een thermometer



6.3.

Bij het begin van de proef moet je er voor zorgen dat de meetvloeistof in de manometer, rechts tegen de afsluiting van het been zit.
Dit kun je bereiken door het stopje er eerst af te halen, op het linkerbeen blazend de vloeistof tot de rand van het rechterbeen op te persen en dan het rechterbeen af te sluiten.

Als de erlenmeyer, waarin ± 50 ml water, is aangesloten op de manometer en geplaatst in het beschermingsvat kun je met behulp van de luchtpomp (of de waterstraalpomp) voorzichtig de ruimte boven het water en links van de olie leegzuigen.
Sluit de aansluiting op de luchtpomp af - d.m.v. de driewegkraan - wanneer het hoogteverschil tussen de olieniveau's in de manometer niet verder daalt.

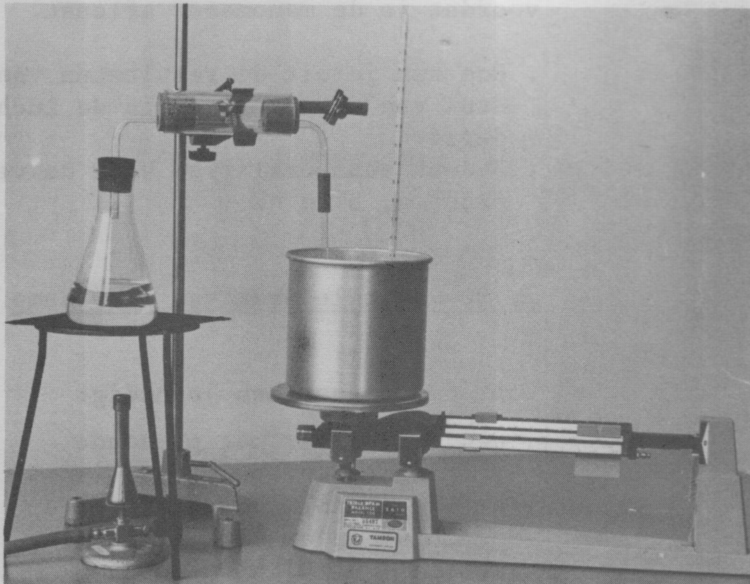
Giet water in het beschermvat. (aquariumbak)
Breng dit water op een aantal verschillende temperaturen en meet de druk van de waterdamp bij die temperaturen.
Om er zeker van te zijn dat de waterdamp en het vloeibare water in evenwicht zijn moet je pas aflezen als het geheel zich minstens 1 minuut op de gewenste temperatuur bevindt.

Bepaal welk verband er bestaat tussen de maximumdruk van waterdamp en de temperatuur, door in een diagram deze grootheden tegen elkaar uit te zetten.

In hoofdstuk 4, paragraaf 5.1 en 5.2, hebben we het gehad over bewegingen in de lucht.
Daarbij zijn de temperatuurveranderingen besproken die zich in de stromende lucht voordoen.
Een volgende belangrijke faktor in het tot stand komen van de temperatuur in de lucht is het warmte-effekt bij verdamping (en bij condensatie) en bij bevriezing (en bij smelten) van het water in de atmosfeer.

a1.warmte effekten bij het overgaan van waterdamp in water

Voor de volgende proef heb je de opstelling nodig die is getekend in figuur 6.4.
In het kookvat wordt water aan kook gehouden. De stoom gaat via de koude val naar het water in de joulemeter en gaat daar over in water. In de koude val kan eventueel afgekoelde stoom kondenseren, in de joule meter kondenseert stoom van kooktemperatuur.
Uit de verandering (toename) van het gewicht van de joulemeter en de temperatuurstijging van het water erin kun je bepalen hoeveel warmte de gekondenseerde stoom heeft afgestaan.



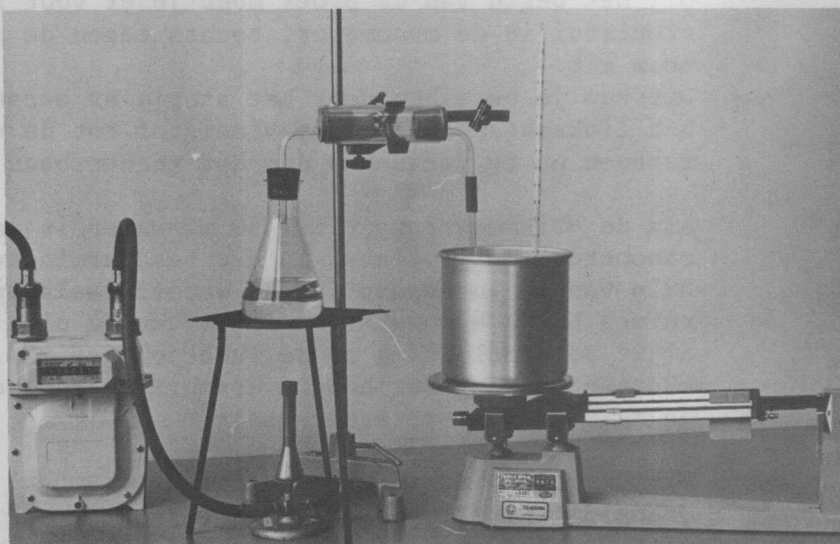
6.4.

- Bepaal hoeveel energie er 'vrijkomt' als 1 gram stoom overgaat in 1 gram water, bij het kookpunt.
- Vergelijk de meetresultaten met de uitkomsten bij proef a2, van jezelf of van een medeleerling.

a.2. warmte effekten bij het overgaan van water in waterdamp, 1.

Je kunt de hoeveelheid warmte die nodig is om water bij het kookpunt om te zetten in waterdamp bepalen met de opstelling uit figuur 6.5.
De gasmeter geeft je het aantal m^3 gas dat via verbranding de energie levert om het water te verdampen. In het tabellenboek staat de verbrandingswarmte van aardgas.
Het gewichtsverlies aan water kun je door weging na het verdampen bepalen.

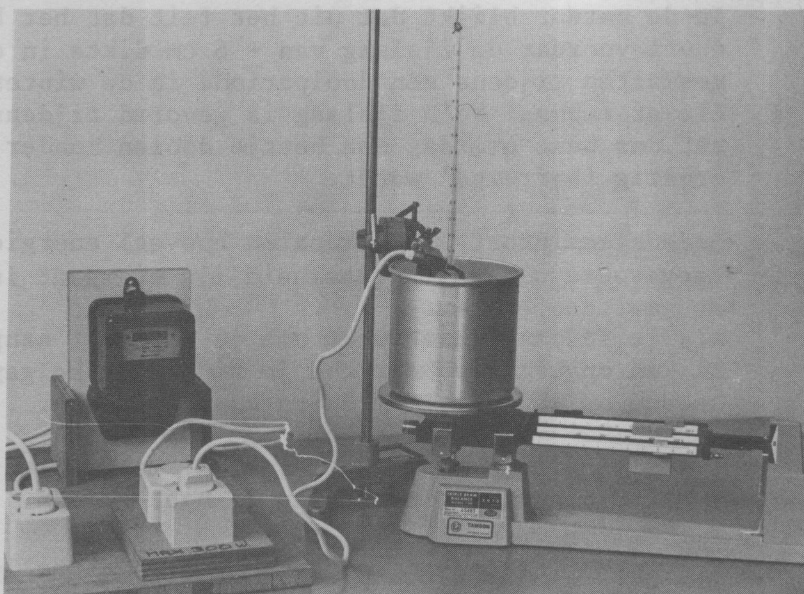
zie ook (bijlage 6.1)



6.5.

a.3. warmte effekten bij het overgaan van water in waterdamp,

Bij deze proef heb je een joulemeter nodig waarin zich een verwarmingselement bevindt.
De elektrische energie die tijdens de metingen wordt toegevoegd moet gemeten worden.
De joulemeter met inhoud moet steeds aan het begin en het einde van een meting gewogen kunnen worden.



6.6.

Breng in de joulemeter een hoeveelheid schoon water (bijvoorbeeld 300 ml) en bepaal het gewicht van de joulemeter met deksel met het water, het verwarmingselement en de thermometer erin.

Verwarm het water in de joulemeter tot 50 °C en stel de verwarming zò in dat de temperatuur 50 °C blijft.
Meet daarna de hoeveelheid energie die er gedurende 5 minuten in het verwarmingselement wordt gestopt terwijl de temperatuur 50 °C blijft.
Bepaal na de 5 minuten hoeveel water er is verdampt.
Bereken de hoeveelheid energie die nodig is geweest om 1 gram water bij 50 °C te verdampen.

Voer deze proef ook uit bij het kookpunt van water, bij de heersende druk.

- Wat is je conclusie wat de snelheid van verdampen van water, bij verschillende temperatuur, aangaat?
- Bepaal* hoeveel energie nodig is om bij het kookpunt 1 gram water over te voeren in 1 gram waterdamp
- Vergelijk de uitkomsten van je metingen met de resultaten uit proef a1, van jezelf of van een medeleerling
- Vergelijk de verdampingswarmte die je hebt gevonden met de waarde uit de tabellen.
  Geef het verschil van de waarden aan in procenten van de tabelwaarde.

*Op blz. 58 e.v. staat een verhaal waaruit je kunt leren hoe je met de meetresultaten moet rekenen om het gezochte antwoord te vinden. Nog mooier is het wanneer je zèlf een manier bedenkt om het probleem op te lossen en die vergelijkt met 'onze' methode.

b. warmte effekten bij het overgaan van ijs in water

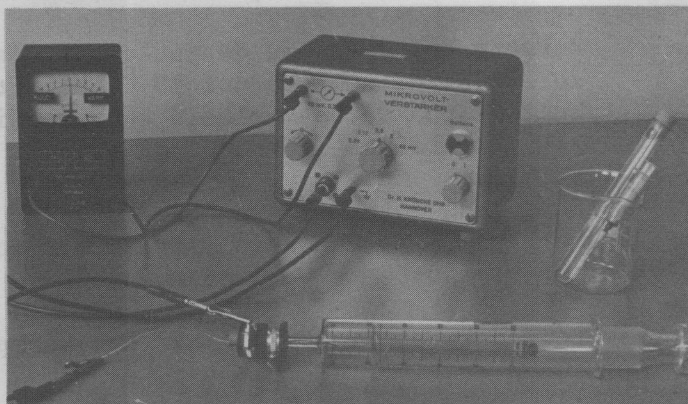
Voor het smelten van ijs is - veel - warmte nodig.
In de natuur blijkt dat uit het feit dat het behoorlijk lang duurt voordat de ijslaag van ± 6 cm dikte in een sloot is weggesmolten tijdens een dooiperiode in de winter.
Als er eenmaal zo'n ijslaag is gevormd tijdens het vriezen mag het dus best overdag een beetje dooien zonder dat de ijslaag ernstig 'bedreigd' wordt.

Bedenk een proef om te bepalen hoeveel energie er moet worden toegevoerd als een hoeveelheid ijs overgaat in water van de smelttemperatuur.
Als je helemaal niet weet hoe je dat moet aanpakken kun je kijken op blz. .. Daar kun je vinden welke gegevens je moet hebben om het probleem op te kunnen lossen.

. Bepaal uit je meetresultaten de smeltwarmte van ijs
. Vermeld kort welke proeven je hebt gedaan

4. Verschijnselen in vochtige lucht bij snelle volumeveranderingen

In deze proef gaan we na welke verschijnselen optreden in lucht waarin een grote hoeveelheid damp aanwezig is.
Om die hoge vochtigheid te bereiken kun je in de ruimte in de gasmeetspuit een hoeveelheid (± 5 ml) brengen van een mengsel bestaande uit 50% alcohol en 50% water; alcohol is een makkelijk verdampende vloeistof.
De temperatuur in de ruimte meten we met een thermokoppel.



adiabatische volume verandering in vochtige lucht 6.7.

Breng in de gasmeetspuit 40 ml lucht en ± 5 ml van een alcohol-water mengsel.
Wacht ± 5 minuten zodat de lucht in de ruimte met waterdamp is verzadigd.
Bepaal de temperatuurverandering in de lucht wanneer je die snel samenperst.
Doe dit ook wanneer je uitgaande van het beginvolume, de lucht snel uitrekt.
Zorg dat de volumeverkleining 'gelijk' is aan de volumevergroting.

5. De stroming van vochtige lucht

Om een idee te krijgen van de verschijnselen die zich afspelen wanneer lucht - waarin zich waterdamp bevindt - zich verplaatst tengevolge van temperatuurverschillen, kun je proeven doen in een 'modelkamer'.
De beschrijving van de proeven die je kunt doen staat op blz. 32

METING VAN DE VOCHTIGHEID VAN DE LUCHT

De waterdamp in de lucht

Bij de voorspelling van het weer is een belangrijk gegeven welke de condities zijn wat betreft de waterdamp in de lucht.
In de proeven hebben we gezien, dat waterdamp bij een bepaalde temperatuur een bij die temperatuur horende verzadigingsdruk heeft; er is bij elke temperatuur een bepaalde maximale hoeveelheid waterdamp die zich - per cm^3 gerekend - in een ruimte kan bevinden.
Wanneer die maximale hoeveelheid wordt overschreden treedt condensatie op; het gedeelte van de damp dat 'teveel is' gaat over in water, bijvoorbeeld door nevelvorming of beslaan van ruiten.

Voor de weervoorspelling is het daarom van belang om te weten hoe ver de waterdamp in de lucht af zit van het verzadigingspunt, bij de heersende temperatuur.
Een maat voor de hoeveelheid waterdamp in de lucht is de dampspanning; een maat voor de kans op verzadiging is: de verhouding tussen die dampspanning en de verzadigingsdruk bij de heersende temperatuur. Men heeft nu ingevoerd de relatieve vochtigheid (e).
De relatieve vochtigheid (e) is - in procenten - de verhouding tussen de werkelijke dampspanning in een ruimte en de maximale waarde die de dampspanning bij de heersende temperatuur kan hebben.
In formule $e = \frac{p_{waterdamp}}{p_{vers.}} \times 100\%$

Meten van de relatieve vochtigheid van de lucht (1)

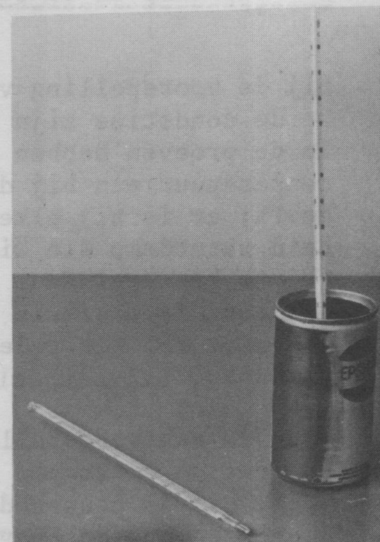
In de tabel fig. 6.8 is de verzadigingsdruk van waterdamp bij verschillende temperaturen gegeven.
Als dus in een kamer de waterdampspanning 8,75 mm kwikdruk is bij een luchttemperatuur van 20 °C is volgens de definitie, e = 50%, reken dit na!
Hoe kom je nu te weten hoe groot de spanning van de waterdamp in de lucht is?

Daarvoor kunnen we gebruik maken van het feit dat dat maximumspanning van waterdamp lager is bij lagere temperatuur (kijk maar in de tabel).

waterdamp	
t in °C	p_m in mm Hg
0	4,6
2	5,3
4	6,1
6	7,0
8	8,0
10	9,2
12	10,5
14	12,0
16	13,6
18	15,5
20	17,5
22	19,8
24	22,4
26	25,2

6.8

Voor de proef heb je een leeg conservenblikje, water ijsblokjes en een thermometer nodig.
Maak de buitenkant van het blikje goed droog nadat je het half vol met water van kamertemperatuur hebt gedaan.
Doe stukjes ijs in het water en roer goed.
Bepaal bij welke temperatuur* je voor het eerst een kondenslaagje op de buitenkant van het blikje krijgt te zien.

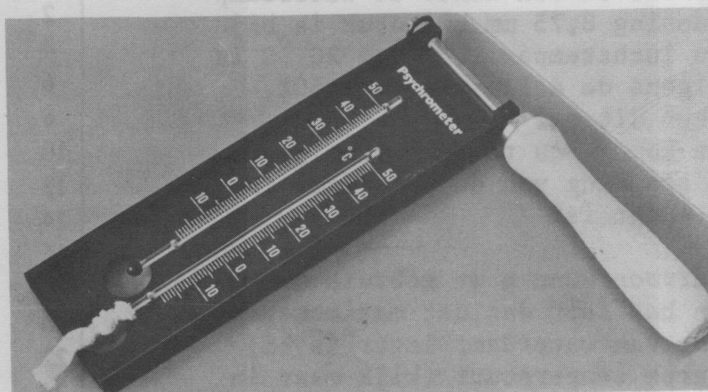


6.9.

. Reken de relatieve vochtigheid in de ruimte uit met het gegeven van de temperatuur die je hebt bepaald en de gegevens uit de tabel.

Meten van de relatieve vochtigheid van de lucht (2)

Een methode om de vochtigheid van de lucht te bepalen is die waarbij je gebruik maakt van een *psychrometer*.
De psychrometer bestaat uit twee thermometers; één thermometer meet de temperatuur van de lucht in de ruimte, de andere meet de temperatuur die er heerst in een vochtig kousje dat om het reservoir van de thermometer zit en waar het water uit verdampt.
Met de waarden van de zogenaamde droge en natte** temperatuur en een tabel kun je de relatieve vochtigheid bepalen.
Als je deze proef wilt doen kun je gebruik maken van bijlage 6.1.



6.10.

*Wanneer je de temperatuur van een voorwerp dat zich in de 'gewone' lucht om ons heen bevindt verlaagt, zal - afhankelijk van de vochtigheidsgraad van de lucht - bij een bepaalde temperatuur de lucht rond dat voorwerp oververzadigd raken. Er zal waterdamp kondenseren op het voorwerp. Deze temperatuur heet het dauwpunt. De dampdruk van de waterdamp in de lucht is gelijk aan de maximumspanning horend bij het dauwpunt.

**Voor het verdampen van water is energie nodig. Deze wordt onttrokken aan het kwik in het thermometerreservoir.

BIJLAGE 6.1.

Berekeningen bij 'Onderzoek aan lucht waarin zich waterdamp bevindt'

Je kunt in dit stukje de volgende voorbeeldberekeningen vinden.
1. berekenen van de eindtemperatuur bij een 'smeltproef'
2. berekenen van de eindtemperatuur bij een 'condensatieproef'
3. berekenen van de verdampingswarmte van water n.a.v. een 'kookproef'

1. Rekenen aan een smeltproef

In een Joule-meter bevindt zich water van kamertemperatuur.
Welke temperatuur zal de inhoud van de Joulemeter krijgen als we een hoeveelheid ijs - uit het vriesvak van de koelkast - in het water stoppen en goed roeren.

Je kunt zo'n proef doen, wij gaan nu een aantal getallen invoeren en doen de proef 'in gedachten'.

Stel dat we 50 g ijs van -4 ^{o}C stoppen in 500 g water van 20 ^{o}C.
Wat is dan te verwachten over de eindtemperatuur?
Om hier iets over te kunnen zeggen moeten we een veronderstelling doen, namelijk dat de voor het smelten benodigde warmte wordt 'geleverd' door het - afkoelende - water; we nemen dus aan dat er geen warmte vanuit de lucht in het lokaal of vanaf de tafel waarop we de proef doen, wordt toegeleverd aan het smeltende ijs.
Daarom 'doen' we de proef in een goed isolerende Joulemeter.

Wat zich afspeelt tijdens het proefje kun je met de volgende stappen aangeven:

a. 1. ijs van -4 ^{o}C warmt op tot ijs van 0 ^{o}C
   2. ijs van 0 ^{o}C smelt en wordt water van 0 ^{o}C
   3. water van 0 ^{o}C warmt op tot water van de eindtemperatuur, zeg t_{eind} (^{o}C)

b. water van 20 ^{o}C koelt af tot water van de eindtemperatuur, dus van t_{eind} (^{o}C).

Bij het bekijken van de stappen zien we processen waarbij de stof van temperatuur verandert bijv. bij a_1 a_3 en b en een stap waarbij wel warmte wordt opgenomen - smeltwarmte - maar de temperatuur van de stof blijft gelijk, stap a_2
Nu weten we - uit het tabellenboek bijvoorbeeld - dat er 4,2 J aan energie 'vrijkomt',
als 1 gram water 1°C in temperatuur daalt; anders gezegd: de soortelijke warmte van water is 4,2 J/g ^{o}C

Je kunt verder door opzoeken vinden dat voor het smelten van 1 g ijs van 0 ^{o}C nodig is 334 J.
De soortelijke warmte van ijs is 2,2 J/g ^{o}C, met andere woorden

om 1 gram ijs 1 °C in temperatuur te laten stijgen is 2,2 J energie nodig.
Ga na in je tabellenboek waar deze gegevens staan vermeld.

Wat vinden we nu als we met deze gegevens aan de slag gaan.

voor stap a1:

er wordt bij het opwarmen opgenomen: 50 x 4 x 2,2 J = 440 J
440 J

voor stap a2:

er wordt aan smeltwarmte opgenomen: 50 x 334 J = 16700 J
(dat is nogal wat!!)

voor stap a3:

er wordt bij het verder opwarmen opgenomen: $50 \times 4{,}2 \times t_{eind}$ (J)

voor stap b:

tijdens het afkoelen van 500 gram water van 20 °C wordt geleverd:
$500 \times 4{,}2 \times (20 - t_{eind})$ J

De energie die het afkoelende water levert is opgenomen door het ijs dat in temperatuur is gestegen, is gesmolten tot water en verder in temperatuur is gestegen dus:

$$500 \times 4{,}2 \times (20 - t_{eind} \text{ (J)}) = 440 \text{ J} + 16700 \text{ J} + 50 \times 4{,}2 \times t_{eind} \text{ (J)}$$

dus - reken maar na -

$$t_{eind} = \frac{24060}{1881} \text{ °C} = 12{,}8 \text{ °C}$$

2. Rekenen aan een kondensatieproef

Om het volgende verhaal te kunnen volgen is het raadzaam om nog eens door te lezen wat er bij 'rekenen aan een smeltproef' is verteld.

De gedachteproef die we nu 'doen' is:
We laten 2 gram waterdamp van 100°C - stoom - kondenseren door die stoom te leiden in 250 gram water van 20 °C die zich in een goed isolerende Joulemeter bevindt.
Stel dat na goed roeren de temperatuur in de Joulemeter daalt tot 23 °C.
Hoe reken je dan uit welke energie 1 gram stoom tijdens het kondenseren heeft afgeleverd m.a.w. hoe groot is volgens deze 'meetresultaten' de kondensatiewarmte?

We noemen de kondensatiewarmte ΔH J/g.
We kunnen de volgende stappen onderscheiden:
1. stoom van 100 °C gaat over in water van 100 °C; dit levert $2 \times \Delta H$ J aan energie
2. water van 100 °C koelt af tot water van 23 °C; dit levert $2 \times 4{,}2\ (100 - 23)$ J aan energie
3. water van 20 °C stijgt in temperatuur tot 23 °C; dit kost $250 \times 4{,}2 \times (23 - 20)$ J aan energie

Als er van buitenaf geen energie wordt toegevoerd aan de inhoud van de Joulemeter, geldt dan:

$$2 \times \Delta H + 2 \times 4,2 \times (100 - 23) = 250 \times 4,2 \times (23 - 20).$$

Reken na dat dan $\Delta H = 1245$ J/g.

3. Overgaan van water in waterdamp

In proef 3a2 wordt de warmte die nodig is om water 'om te zetten' in waterdamp geleverd door aardgas te verbranden.
De energie die afgestaan wordt door het gas is te berekenen als je de massa van de verbruikte hoeveelheid gas en de verbrandingswarmte ervan kent.

Tijdens de proef wordt van de hoeveelheid gas gemeten hoe groot het volume - het aantal m^3 - is.

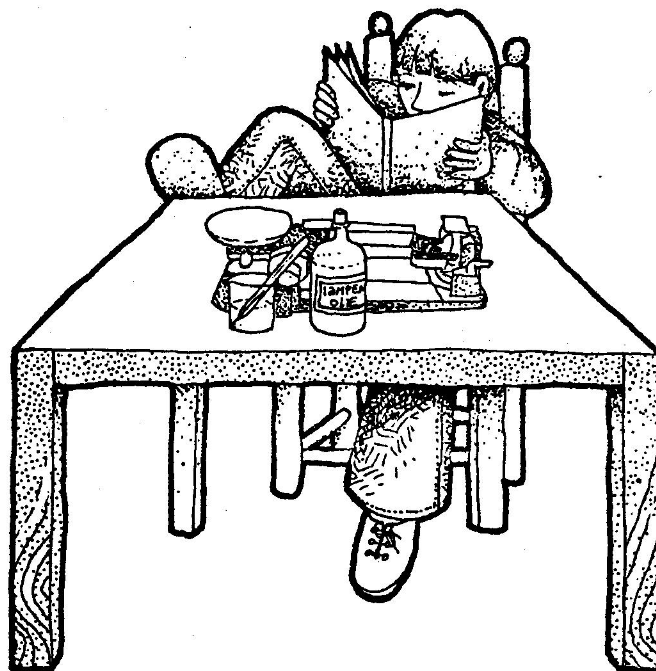
In het tabellenboek vind je voor de dichtheid van aardgas 0,833 kg/m^3 bij 0 °C en 1 atmosfeer.
De metingen tijdens de proef zijn - meestal - niet bij 0 °C en 1 atmosfeer gedaan.
Om te weten hoe groot het volume dat we hebben gemeten, zou zijn bij 0 °C en 1 atmosfeer moeten we een omrekening maken.
Wanneer we de gemeten druk p (in atmosfeer) noemen, het gemeten volume V (in m^3) en de gemeten temperatuur t (in °C) dan is het gezochte volume, $V_{0^oC,\ 1\ atm.}$

$$V_{0^oC, 1 atm.} = \frac{p}{1} \cdot \frac{273}{(273+t)} \cdot V \ . (m^3)$$

Omdat je weet dat 1 m^3 gas bij 0 °C en 1 atmosfeer een massa heeft van 0,833 kg kun je uitrekenen hoeveel aardgas er is verbrand tijdens de proef en hoeveel energie dat heeft opgeleverd.

Rekenen aan warmte

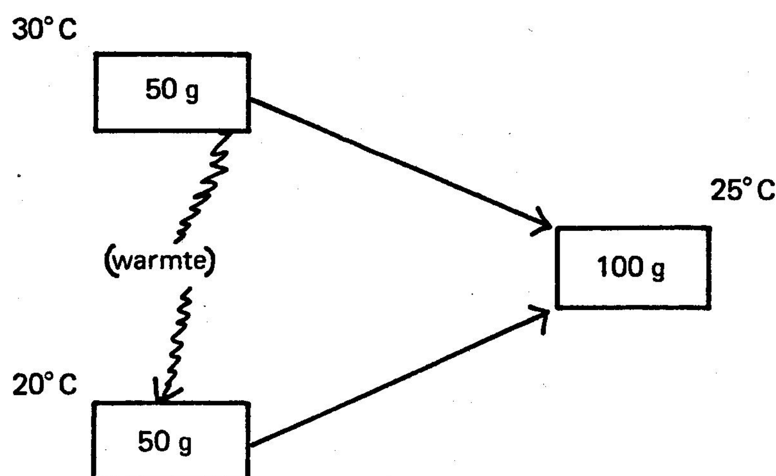
Om je proeven beter te kunnen voorbereiden of om na afloop van je proeven daar beter over te kunnen nadenken moet je het volgende leesstukje maar eerst goed doornemen. Misschien kun je, als je het gelezen hebt, er eens met elkaar over praten.



en hij peinsde toen . . .

Een eenvoudig voorbeeld, om te beginnen:

als je
50 gram water van 20° C. zou mengen met 50 gram water van 30° C.



Dan verwacht je:
100 gram water van 25° C. te krijgen waarbij het water van 30° C warmte afstaat aan het water van 20° C.

Klopt dit? We zullen dat eens nagaan met de definities over de eenheid van warmte-energie:

1 Joule is de hoeveelheid warmte-energie, nodig om 0,24 gram water één graad in temperatuur te doen veranderen, dus voor 1 gram water die 1°C. in temperatuur verandert,

$\frac{1}{0,24}$ J(oule)!

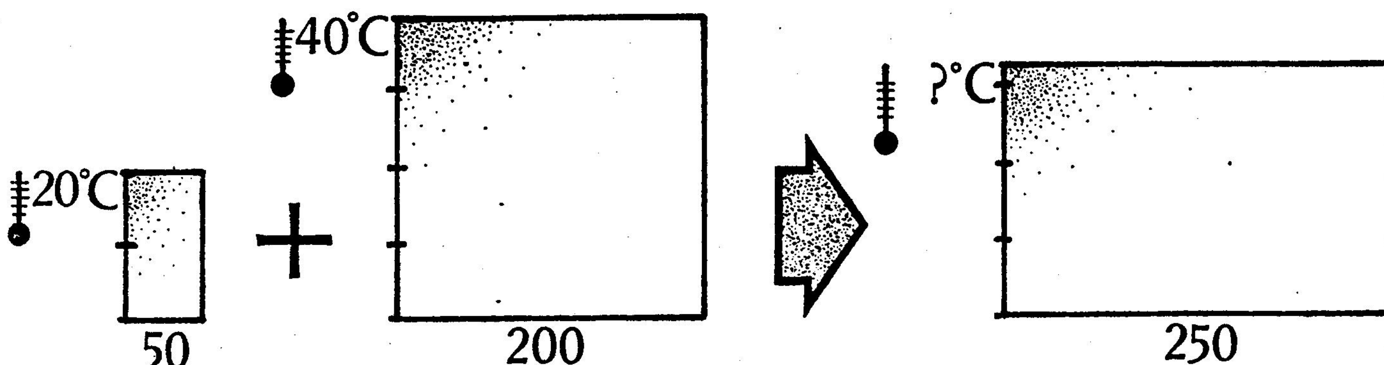
Het water van 20°C. stijgt in temperatuur, daarvoor is nodig 50 x $\frac{1}{0,24}$ x 5 (J), maar het water van 30°C. daalt 5°C. in temperatuur, en dat levert:

50 x $\frac{1}{0,24}$ x 5 (J.)

met andere woorden, de eindtemperatuur van 25°C. (dit is 20°C + 5°C. en 30°C. – 5°C.) komt doordat het koude water net zoveel warmte opneemt als het warme water afstaat.

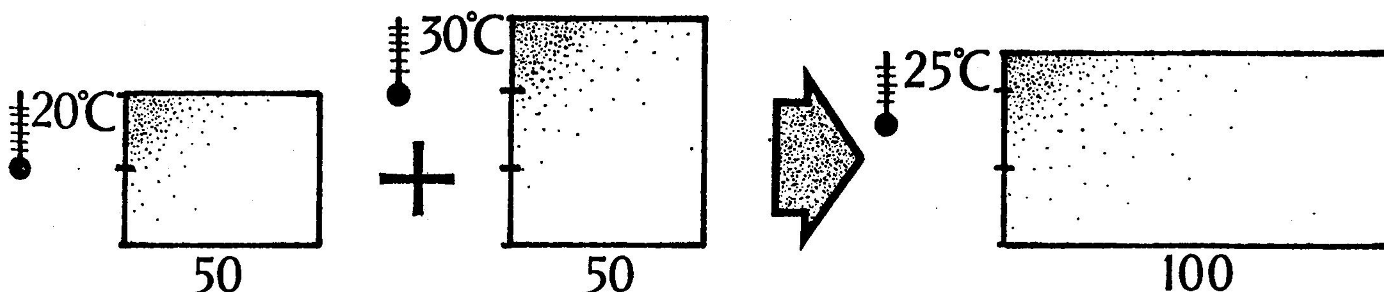
Nou, dat is wel even moeilijk, kan het nou niet „makkelijker"?

Als warm water met koud water wordt gemengd dan wordt er iets, namelijk warmte-energie tussen de „waters" uitgewisseld. Als je nu precies zou weten hoeveel warmte-energie (in J) er in bijvoorbeeld 50 gram water van 20°C. zit dan zou je er verder „aan kunnen rekenen". Nou, we weten het (nog) niet maar kijk eens naar de volgende plaatjes:



50 x 20 + 200 x 40 = 250 x ?; reken de nieuwe temperatuur eens uit!

dus ook:



of: 50 x 20 + 50 x 30 → 100 x 25

Of: het oppervlak van rechthoek III (basis x hoogte) is de som van de oppervlakten van de rechthoeken I en II

Je kunt dus iets zeggen over de te verwachten eindtemperatuur bij het mengen van water van verschillende temperatuur met behulp van dit „blokjesmodel''.
De lengte van de basis van het blokje wordt bepaald door de hoeveelheid water en de hoogte van het blokje door de temperatuur van het water. Natuurlijk is het aantal grammen water nà het mengen de som van het aantal grammen water van vóór het mengen; dit is de **eerste rekenregel.**
En wat is dan de tweede rekenregel in het „blokjesmodel''?

Pas op:
Je mag dit „blokjesmodel'', voorlopig, alleen toepassen als je verschillende (of gelijke) hoeveelheden van verschillende temperatuur van EENZELFDE vloeistof mengt!

Warmte-energie — verschillende vloeistoffen

In het stukje over het blokjesmodel (blz.30) stond dat je op moest passen met dat verhaal omdat het alleen was voor EENZELFDE vloeistof. Zoek het nog eens op en lees het na.
Toch kun je je nog minstens twee dingen afvragen:

- Hoe zit het nou als je water met slaolie (of een andere vloeistof) mengt, en
- kun je ook voor slaolie of een andere vloeistof bepalen hoeveel kWh elektrische energie er nodig is om een temperatuurstijging van 1°C te krijgen?

Wij hebben één van de tabellen uit het tabellenboek hiernaast afgedrukt, namelijk de tabel waarin de gegevens van vloeistoffen staan.

11 Gegevens van vloeistoffen

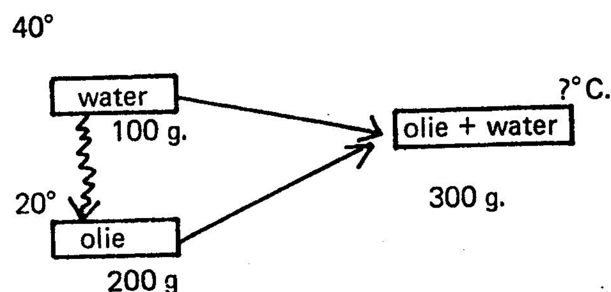
	dichtheid (293 K)	oppervlaktespanning (293 K)	viscositeit (293 K)	kubieke uitzettingscoëfficiënt (293–373 K)	soortelijke warmte (293–373 K)	warmtegeleidingscoëfficiënt (293 K)	smeltpunt ($p = p_0$)	smeltwarmte	kookpunt ($p = p_0$)	verdampingswarmte	kritieke temperatuur	kritieke druk
	10^3 kg m^{-3}	10^{-3} N m^{-1}	10^{-3} Pa s	10^{-3} K^{-1}	10^3 J kg^{-1} K^{-1}	W m^{-1} K^{-1}	K	10^5 J kg^{-1}	K	10^5 J kg^{-1}	K	10^6 Pa
aceton	0,79	23	0,33	1,5	2,20	0,16	178	0,92	329	5,15	509	6,1
alkohol	0,80	22	1,2	1,1	2,43	0,17	159	1,05	351	8,41	516	6,2
aniline	1,02	43	4,4	0,84	2,05	0,17	267	0,88	457	4,35	699	5,1
benzeen	0,88	29	0,65	1,2	1,71	0,15	279	1,27	353	3,93	563	4,6
benzine	0,72											
chloroform	1,49	27	0,6	1,3			210		335		535	5,5
ether	0,71	17	0,23	1,7	2,30	0,14	157	1,15	308	3,77	467	3,3
glycerol	1,26	62	1500	0,5	2,43	0,29	292	1,75	563			
koolstof-disulfide	1,26	32	0,36	1,2	1,00	0,14	161		319	3,5	552	7,5
kwik	13,5 ¹)	500	1,55	1,82	0,14	10,4	234	0,12	630	3,01	1720	100
melk	1,02–1,04	45	2,1	0,8 ²)	3,9	0,49	272,5		373			
methanol	0,79	23	0,60	1,2	2,50	0,21	175	0,92	338	11,1	513	7,8
olijfolie	0,92	33	84	0,72	1,65	0,17						
petroleum	0,79				2,1	0,15						
siliconenolie	0,76	16	0,49	1,6	1,37	0,10	205		373			
stookolie	0,95											
tetra	1,6	26	0,97		0,84	0,10	250	0,17	350	1,93	556	4,4
terpentijn	0,84	27	1,5	0,97	1,75	0,15	263		453	2,93	649	7,9
water	0,998	73	1,00	0,21 ³)	4,18	0,60	273	3,34	373	22,6	647	22,1
zeewater					3,93							
zwaar water	1,105				4,22	0,58	277	3,18	374	20,7	645	21,7
zwavelzuur	1,8	55	28	0,56	1,38		284		603	5,11		

¹) 13,6 bij 273 K ²) 273–333 K ³) 293 K

Op het regeltje van water zie je dan als vijfde getal, 4,18 (x10^3) staat de zogenaamde soortelijke warmte van water in Joule per kg. en per °C; 1 kg water heeft 4,18 x 10^3 J warmte-energie nodig om 1°C in temperatuur te stijgen, dus 1 gr. water 4,18 J.
In de tabel staat ook, „zoek" het op, dat 1 kg petroleum 2,1 x 10^3 J. warmte-energie nodig heeft om 1°C in temperatuur te stijgen, dus 1 gram petroleum 2,1 J.
Nu is het zo, maar dat had je wel gedacht, dat bij afkoeling één vloeistof evenveel warmte-energie afstaat als hij opneemt bij verwarmen.
Je zou, nu je dit weet, kunnen gaan uitrekenen:

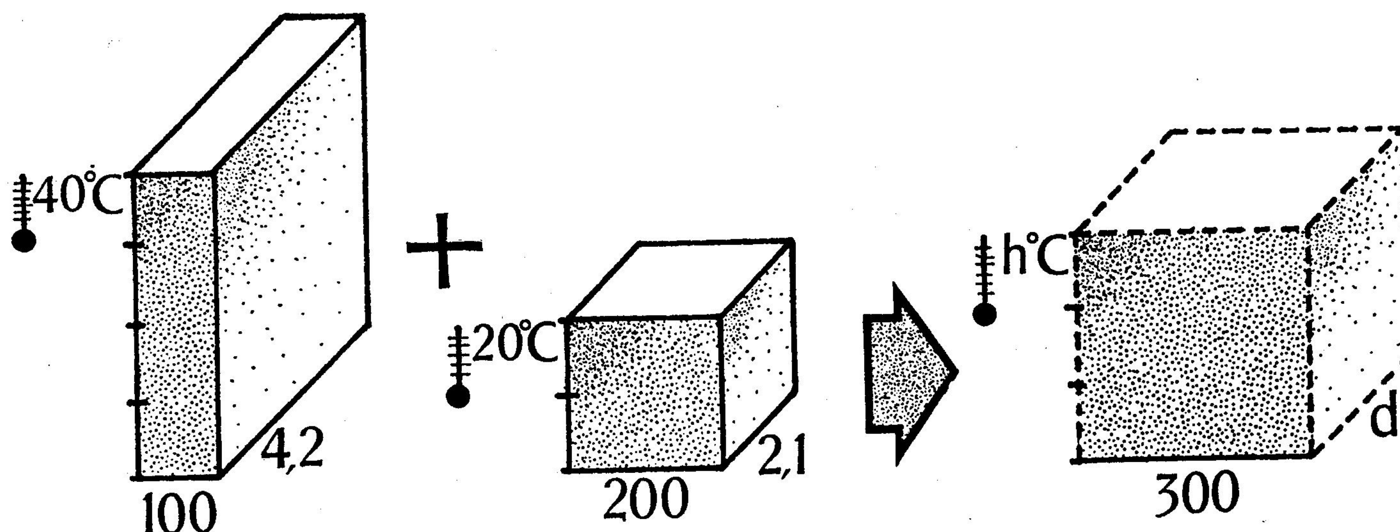
100 gram water van 40°C + 200 gram petroleum van 20° → 300 gram mengsel van ?°C.

want je kunt er van uitgaan dat het water afkoelt, warmte afstaat en de petroleum opwarmt, warmte opneemt dus:



Maar je kunt ook weer gebruik maken van het blokjesmodel als je dat tenminste op de goede manier doet.

Hoe dat gaat zullen we nu eens bekijken:



Als je de tekening bekijkt zie je dat:

- de rechthoek voor water is uitgebreid tot een blok met dikte 4,2; dan is het tot een blok met dikte 4,2; dan is het petroleumblok duidelijk.
- er twee vragen zijn bij het „water en petroleumblok" namelijk hoe hoog het is (de temperatuur) èn hoe dik het is.

We rekenen nu eerst de dikte (d) van het onbekende blok uit:

$$100 \times 4{,}2 + 200 \times 2{,}1 = 300 \times d \text{ dus } d = \frac{420 + 420}{300} = 2{,}8$$

dus:
het petroleum-water mengsel heeft een soortelijke warmte van $2{,}8 \times 10^3$

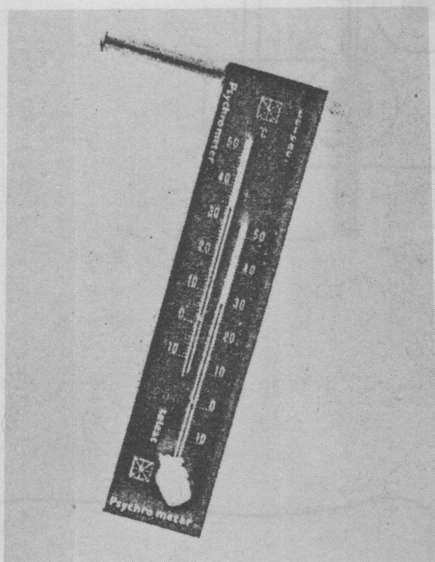


Nu kunnen we de hoogte (h) van het water petroleum-blok ook uitrekenen:

$$100 \times 4{,}2 \times 40 + 200 \times 2{,}1 \times 20 = 300 \times 2{,}8 \times h \text{ dus } h = \frac{25200}{840} = 30^\circ$$

dus de temperatuur van het petroleum-water-mengsel is 30°C.

Bijlage 6.3.
De psychrometer.



verwerkt die onder invloed van vocht langer wordt. Deze lengteverandering wordt in de hygrometer omgezet in een draaiende beweging, die een wijzer over een geijkte schaalverdeling doet lopen.
Andere soorten hygrometers bevatten een spiraalvormige opgerolde strook geprepareerd hygroscopisch (vochtaantrekkend) karton, waarbij één kant vast is opgesteld en de vrije kant een wijzer in beweging kan zetten.
Soms zijn deze instrumenten uitgevoerd in combinatie met een thermometer (meestal van het bimetaal-type); de draaiassen van de wijzers zijn dan zodanig opgesteld dat de wijzers elkaar kruisen. Er ontstaat dan een 'kruisgebied' op de vochtigheids- en temperatuurschaal, en daarbij voelt de mens zich het prettigst. Want een te lage of te hoge temperatuur of vochtigheid kan er de oorzaak van zijn dat iemand zich minder plezierig voelt.
De in de handel verkrijgbare hygrometers zijn niet altijd even betrouwbaar. Deze psychrometer is dat echter wel.

4. Gebruik van de psychrometer

Relatieve vochtigheid in het algemeen
De vochtigheid van de lucht is direct afhankelijk van twee factoren, te weten:
a. de temperatuur ter plekke;
b. de temperatuur op dàt moment.
Lucht met een bepaalde temperatuur kan immers slechts een daarmee verbonden maximale hoeveelheid vocht bevatten. Een overschrijding van de hoeveelheid vocht (waterdamp), bijvoorbeeld bij daling van de temperatuur, heeft dus altijd condensatie tot gevolg; beslagen ramen van auto's, huizen, keukens en badkamers zijn hiervan voorbeelden.
Zie ook het cursusboek *Wij en het weer,* bladzijde 18 en 19.

Meetinstrumenten
Om deze vochtigheid te kunnen meten zijn instrumenten ontwikkeld, de zgn. *hygrometers,* waarin een mensenhaar zit

Uitvoering van de psychrometer
Ondanks het feit dat dit instrument op verschillende manieren kan worden uitgevoerd, berust het principe van dergelijke direct aanwijzende instrumenten (hierin zijn geen elektronische onderdelen ingebouwd voor een bepaalde waarneming) op een dubbele temperatuurmeting, en wel door middel van een 'droge' en 'natte' thermometer.
Het vloeistofreservoir van de natte thermometer is omgeven door een katoenen kousje, dat vochtig wordt gemaakt met regenwater of mineraalwater. Omdat leidingwater veel kalk bevat dat bij opdroging in de vezels van het katoen achterblijft en het opnemend vermogen aanzienlijk doet verminderen, heeft mineraalwater onze voorkeur.
De psychrometer in dit Teleac-pakket kan op twee manieren worden gebruikt:
a. als vast opgesteld apparaat (bijvoorbeeld in een weerhuisje);
b. als slingerpsychrometer.
Wanneer de psychrometer vast wordt opgesteld, is het bijgeleverde 30 ml druppelflesje nodig, waarin het katoenen kousje (10 cm lang) moet worden gehangen vanaf de natte

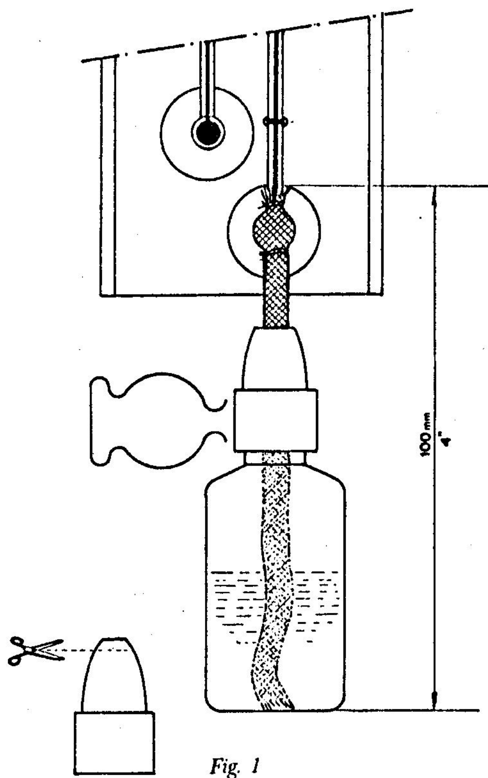


Fig. 1

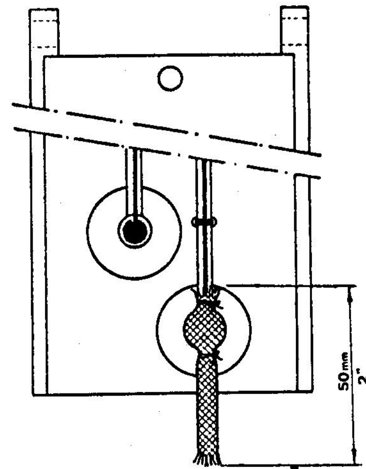
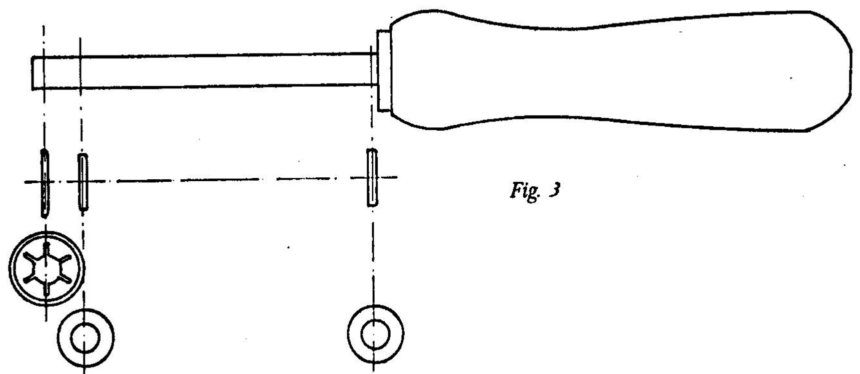


Fig. 2


Fig. 3

bol tot onderin in het flesje (zie figuur 1). Bij het in gebruik nemen vormt zich na ongeveer één uur een evenwichtstoestand waarna de beide thermometers kunnen worden afgelezen.
Indien de psychrometer als slingerpsychrometer wordt gebruikt - dit kan overal - moet het katoenen kousje van ongeveer 5 cm lengte goed vochtig worden gemaakt en aan de natte bol worden vastgemaakt (zie figuur 2). Als de slingeras (zie figuur 3) is gemonteerd (goed vastdraaien), kan de psychrometer worden rondgeslingerd. Door het draaien is de ventilatie optimaal, zodat er na 100 à 150 sec een evenwicht tot stand komt. Wanneer de psychrometer vast is opgesteld, neemt dit komen tot een evenwicht meer tijd in beslag.

Montage en ingebruikneming

Bij het hanteren van instrumenten als de psychrometer is uiteraard grote voorzichtigheid noodzakelijk, vooral bij het aanbrengen van de capillairen en het kousje. Het is natuurlijk mogelijk dat er toch een capillair breekt; daarom worden er dan ook twee reserve capillairen bijgeleverd, waardoor de psychrometer bij eventuele breuk van een capillair niet meteen onbruikbaar wordt.
Met behulp van de aluminium klemmetjes kunnen de capillairen worden vastgezet. Men moet er bij de montage wel op letten dat het punt 25 °C – als ijkpunt ook op het capillair aangeven – in overeenstemming is met de schaalijking van 25 °C. Met bijvoorbeeld één druppel lijm/was – slechts op één punt – kan het capillair goed worden vastgezet. Wanneer de beide ijkpunten van 25 °C correct zijn ingesteld, moeten de beide thermometers in droge toestand precies hetzelfde aanwijzen.
Het kousje moet *strak* om het vloeistofreservoir van de capillair zitten, hetgeen mogelijk is door het kousje *boven* èn *onder* het vloeistofreservoir met garen af te binden (zie figuur 1 en 2). Anders zou het kousje worden weggeslingerd, als de psychrometer wordt rondgedraaid.
De psychrometer is nauwkeurig genoeg voor controle van andere hygrometers. Wij adviseren wel deze ijkvergelijking te verrichten bij een temperatuur van ongeveer 25 °C.

De werking van de psychrometer

De natte thermometer wijst na het bereiken van de evenwichtstoestand *altijd* lager aan dan de droge thermometer. De verdamping van het vocht in het kousje van de natte thermometer gaat gepaard met een warmte-onttrekking die blijkt uit stand van de natte thermometer.
Hoe hoger de relatieve vochtigheid is, hoe moeilijker het vocht van het natte kousje kan verdampen, dus des te *kleiner* is het temperatuurverschil tussen de meetwaarden van de droge en natte thermometer. Bij een relatieve vochtigheid van 100% wijzen beide thermometers hetzelfde aan. Omgekeerd: hoe groter het temperatuurverschil is, des te geringer is de relatieve vochtigheid. Wanneer wij nu de grafiek (zie figuur 4) raadplegen, zien wij dat het snijpunt van de meetwaarden van de droge en natte thermometer de gezochte relatieve vochtigheid aangeeft (eventueel na interpolatie). De meetwaarden van de thermometers kunnen tot op $\frac{1}{2}$ °C nauwkeurig worden geschat.
Deze precieze methode is de enig fysisch juiste manier van meten van de relatieve vochtigheid. De meteorologen over de gehele wereld hanteren deze methode dan ook.

Praktisch gebruik en enkele bijzonderheden

De slingeras kan uiteraard op twee manieren worden aangebracht; dit is nodig om het slingeren voor rechts- en linkshandigen mogelijk te maken. Nadat men dit heeft vastgesteld, monteert men de psychrometer zodanig dat de thermometer met het kousje *direct* in de luchtstroom kan worden rondgedraaid. Men hoeft *niet snel* rond te draaien, het gaat tenslotte alleen om de ventilatie. Een lichte polsbeweging is reeds voldoende om een regelmatig tempo te krijgen.
Het druppelflesje van 30 ml dient als waterreservoir, dat bij een vaste opstelling door middel van een klemveer onder de psychrometer moet worden gemonteerd (zie figuur 1).
Voordat men het kousje tot onderin het druppelflesje laat zakken, moet eerst een gedeelte van de dop worden afgesneden.

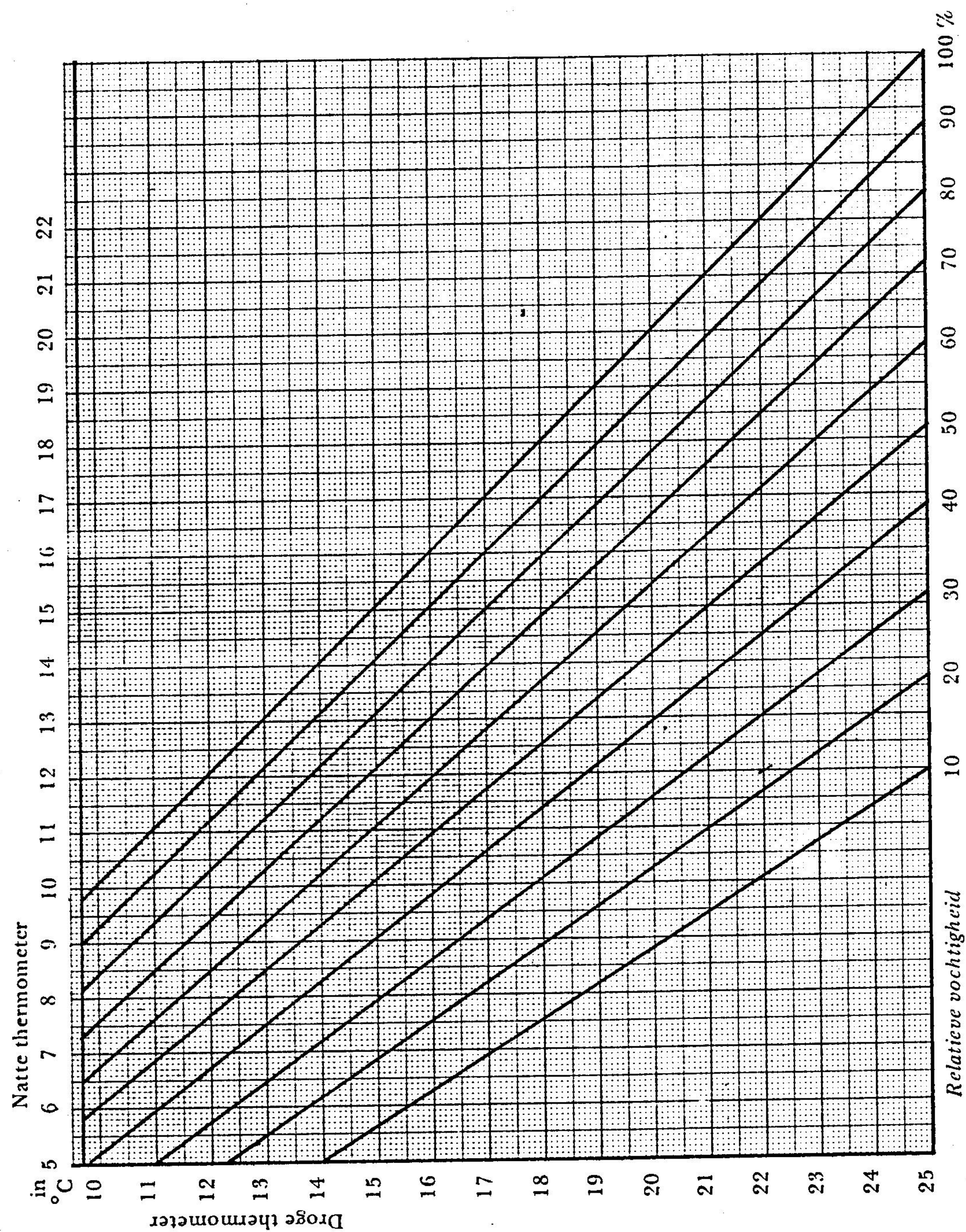
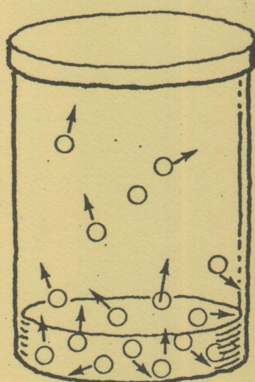

Natte thermometer
5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
in °C
Droge thermometer
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
Relatieve vochtigheid
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 %

Fig. 4

HOOFDSTUK 7

THEORIE OVER WATERDAMP



theorie over waterdamp

7.1. Waterdamp in de lucht

De lucht om ons heen bevat altijd waterdamp, in wisselende hoeveelheden. Binnenshuis komt waterdamp in de lucht door je ademhaling en bij het eten koken. Die waterdamp kan door ventilatie afgevoerd worden of condenseren op koude plaatsen zodat b.v. de ramen 'beslaan'. Buiten komt waterdamp in de lucht door verdamping aan het oppervlak van zeeën en meren en vochtige grond. Die waterdamp kan condenseren tot mist en wolken.

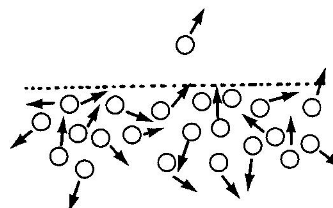
Met deze processen hebben we in de theorie over lucht (hoofdstuk 4) nog helemaal geen rekening gehouden. Wat verandert er aan de eigenschappen van lucht, als er waterdamp in zit? In de proeven van het vorige hoofdstuk heb je kennis gemaakt met een aantal verschillen tussen het gedrag van vochtige lucht en droge lucht. Nu gaan we proberen die verschillen te verklaren.

Lucht stelden we ons voor als een chaos van los rondvliegende deeltjes, telkens botsend zonder daardoor energie te verliezen. De aanwezigheid van waterdamp past eenvoudig in dit model: enkele van die rondvliegende deeltjes zijn watermoleculen. Ze vormen een kleine minderheid tussen de stikstof - en zuurstofmoleculen.

Maar die waterdeeltjes hebben een bijzondere eigenschap: ze kunnen vrij makkelijk 'samenklitten' tot vloeistof. (De andere soorten, zoals stikstof en zuurstof, kunnen dat alleen bij zo lage temperaturen dat het in de atmosfeer niet voorkomt). Hoe meer watermoleculen er in een bepaald volume lucht rondzwerven, des te groter is de kans dat ze elkaar ontmoeten en zich verzamelen tot druppeltjes. Maar er speelt nog een tweede factor mee, of tegen: de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur, des te heftiger de beweging van de deeltjes - dat vermindert de kans dat ze samenklitten.

7.2. Verdamping

Als waterdeeltjes elkaar aantrekken, hoe komt het dan dat water toch altijd een neiging heeft om te verdampen? De oorzaak moet zijn dat ook in de vloeistof water de deeltjes bij lange na niet in rust zijn. Ze bewegen en ze botsen, waarbij de een wat energie verliest en de ander wat energie wint. Wie toevallig flink wat energie gewonnen heeft en net aan het oppervlak zit, kan ontsnappen aan de aantrekking van zijn soortgenoten.



Doordat de energierijkste deeltjes het vlotst ontsnappen, wordt de gemiddelde energie van de achterblijvende deeltjes (de vloeistof) kleiner: de temperatuur van het water wordt lager. Het water kan ook op temperatuur blijven, maar dan moet het energie onttrekken aan de omgeving. Verdamping kun je toepassen voor koeling - het is bijvoorbeeld een belangrijk middel voor onze eigen temperatuurregeling (transpiratie).

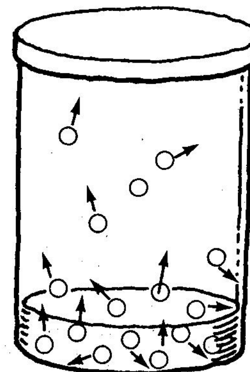
Hoewel uit een vloeistof vooral de energierijkste deeltjes ontsnappen, heeft toch de damp geen hogere temperatuur dan de vloeistof. Dat komt doordat de deeltjes bij het ontsnappen afgeremd worden door de aantrekking van hun soortgenoten. Sommige zullen het maar net halen en nauwelijks energie over hebben als ze ontsnapt zijn.

Duidelijk blijkt dit als je water laat koken. Dan wordt water van 100 °C omgezet in waterdamp van precies dezelfde temperatuur, maar toch kost dit erg veel energie. De energie die nodig is om 1 kilogram water helemaal om te zetten in damp is 2,3 milj. J anders gezegd: de verdampingswarmte van water is $2{,}3 \cdot 10^6$ J/kg. Als de damp condenseert tot water van 100 °C komt dezelfde hoeveelheid energie weer beschikbaar (als condensatiewarmte).

7.3. Verzadigde damp

Aan het oppervlak van water ontsnappen voortdurend watermoleculen. Hoeveel er per seconde uitsnappen, hangt af van de grootte van het oppervlak en van de temperatuur - bij lage temperatuur gebeurt het minder dan bij hoge temperatuur, maar het gebeurt altijd. Zo kun je verklaren dat water uit zichzelf verdwijnt uit een glas dat je open laat staan. Maar wat gebeurt er als je het glas afdekt? De ontsnapte watermoleculen zwerven wat rond door het glas, botsen tegen de wand en het deksel, komen al zwervend weer bij het wateroppervlak *en kunnen daar 'gevangen' worden door de aantrekking van de anderen.*

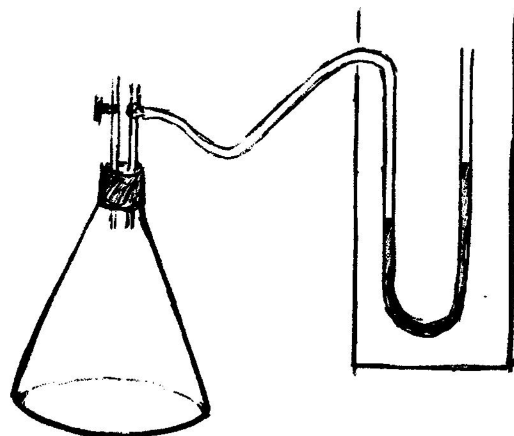
Als de hoeveelheid vloeistof in het glas niet meer verandert, is er blijkbaar een toestand ontstaan van 'evenwicht': per seconde worden er aan het wateroppervlak evenveel moleculen gevangen als er ontsnappen. We spreken dan van *verzadiging*: de lucht is verzadigd met waterdamp. Eigenlijk maakt het niet eens uit of er wel of niet lucht in de kolf zit. Het evenwicht tussen vloeistof en damp is een zaak van watermoleculen onder elkaar. Daarom zeggen we ook wel: *de damp is verzadigd.*



Maken we de temperatuur hoger, dan zullen de deeltjes gemakkelijker uit de vloeistof ontsnappen: per seconde ontsnappen er meer. Het aantal waterdeeltjes in de ruimte boven de vloeistof wordt groter - maar daardoor groeit ook het aantal deeltjes dat per seconde teruggevangen wordt. Na verloop van tijd is er weer evenwicht: de damp is weer verzadigd. Maar het verschil met de vorige verzadigingstoestand is, dat er nu meer dampmoleculen zijn in een gegeven volume.

7.4. Verzadigingsdruk

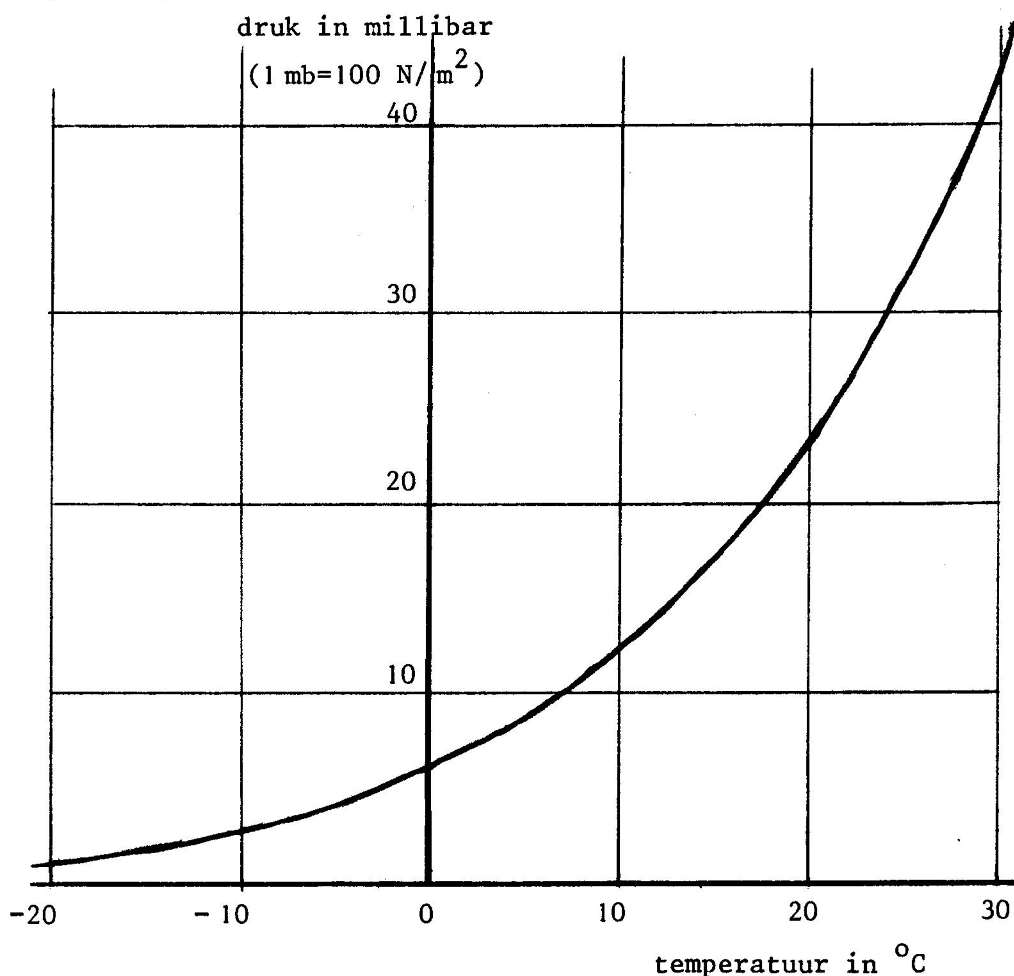
In hoofdstuk 6 heb je een proef gezien met een hoeveelheid droge lucht, opgesloten in een erlenmeyer, waarin water werd gebracht. Na het toevoegen van het water steeg de druk in de erlenmeyer eerst, maar na een tijdje bleef de druk constant. De extra druk is toe te schrijven aan de waterdamp: zwervende moleculen die net zo tegen de wanden botsen als de luchtdeeltjes. Zodra de damp verzadigd is blijft de extra druk constant: we noemen deze de *verzadigingsdruk*.



Bij een hogere temperatuur vinden we een hogere verzadigingsdruk. Die toename van de druk is te verklaren uit

a. de grotere snelheid van de watermoleculen in de lucht: ze botsen vaker en harder tegen de wanden (net als de luchtdeeltjes)
b. het grotere aantal dampmoleculen in de ruimte boven de vloeistof

Punt b. vervalt wanneer al het water in de erlenmeyer verdampt is: de damp gedraagt zich dan bij temperatuurstijging precies zo als lucht. Maar zolang er nog water in de erlenmeyer zit, en dus de waterdamp verzadigd blijft, stijgt de dampdruk extra snel. In de grafiek van de verzadigingsdruk tegen de temperatuur, hieronder, kun je dat goed zien.



7.5. De massa van verzadigde waterdamp

Bij iedere temperatuur hoort een bepaalde verzadigingsdruk van waterdamp, en ook een maximale hoeveelheid waterdeeltjes per kubieke meter. Die deeltjes hebben samen een bepaalde massa, en er bestaan verschillende methoden om die massa te vinden.

temperatuur in °C	dichtheid bij verzadiging in gram/m³
-20	0,9
-10	2,1
0	4,8
10	9,4
20	17,3
30	30,3

Een van die methoden is: breng in een ruimte met verzadigde waterdamp een afgewogen hoeveelheid van een hygroscopische stof, dat is een stof die de waterdamp aan de lucht onttrekt. (In hoofdstuk 6 heb je kennis gemaakt met zo'n stof: silicagel). Bepaal daarna weer hoeveel die hygroscopische stof weegt - de toename is de massa van de waterdamp die in het gebruikte volume lucht aanwezig was.

Enkele uitkomsten zie je in de tabel hierboven. De maximale hoeveelheid waterdamp per kubieke meter stijgt steeds sneller met de temperatuur. Deze aangroei verloopt bijna evenzo als de aangroei van de verzadigingsdruk. En daaruit blijkt dat het toenemen van de verzadigingsdruk vooral veroorzaakt wordt door het toenemen van het aantal dampdeeltjes (en veel minder door de snellere beweging van die deeltjes).

Ook bij 30 °C en bij verzadiging maakt de waterdamp nog maar een klein deel uit van de massa van de lucht om ons heen. Een kubieke meter van die met waterdamp verzadigde lucht heeft, bij normale druk, een massa van ongeveer 1200 gram.

7.6. De relatieve vochtigheid

Meestal bevat lucht om ons heen minder waterdamp dan er bij de gegeven temperatuur in zou kunnen zitten. In hoofdstuk 6 heb je al kennis gemaakt met het begrip *"relatieve vochtigheid"*. Als de feitelijke hoeveelheid waterdamp (b.v.) 70% is van de maximaal mogelijke, spreken we van een relatieve vochtigheid van 70%. Voor het 'klimaat' in huis is de relatieve vochtigheid een belangrijke grootheid, omdat ze invloed heeft op de verdamping van water uit je huid en je slijmvliezen.

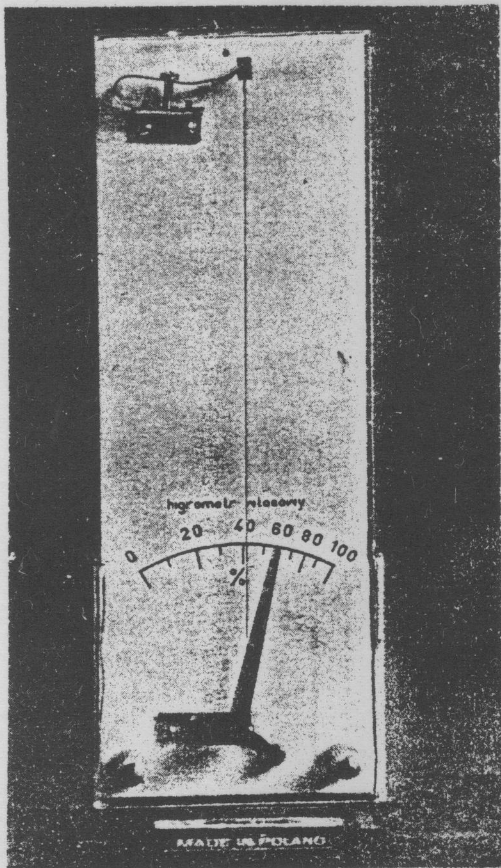
De relatieve vochtigheid is ook belangrijk, in combinatie met temperatuur, wind en zonneschijn, voor de manier waarop de lucht buiten aanvoelt, b.v. kil of koel, zacht of benauwd. En de relatieve vochtigheid is van belang voor de kans op mistvorming bij afkoeling. Hoe groter namelijk die vochtigheid is, des te eerder zal de temperatuur bereikt worden waarbij de waterdamp verzadigd is en gaat condenseren: het *dauwpunt*.

Het dauwpunt van de lucht kun je vrij eenvoudig bepalen; dat heb je in hoofdstuk 6 al gezien. Uit de luchttemperatuur en het dauwpunt kun je de relatieve vochtigheid bepalen.

Een voorbeeld: stel dat de temperatuur van de lucht 20 °C is en het dauwpunt 15 °C. De verzadigingsdruk bij 15 °C is, volgens de grafiek, 17,1 millibar en bij 20 °C bedraagt ze 23,4 mb.
De verhouding van deze drukken is praktisch gelijk aan de verhouding van de feitelijke hoeveelheid waterdamp en de maximale mogelijke, dus de relatieve vochtigheid is

$$\frac{17,1}{23,4} \times 100\% = 73\%$$

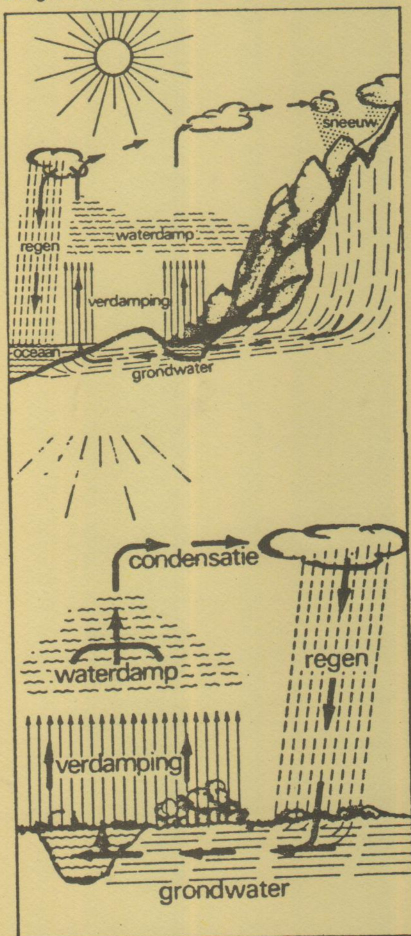
Als het niet zo nauwkeurig hoeft, kun je de relatieve vochtigheid van de lucht ook meten met een haarhygrometer. De werking ervan berust op de lengte-toename en -afname van een haar (een ontvet mensenhaar) bij toename en afname van de luchtvochtigheid.



HOOFDSTUK 8

DE ATMOSFEER: KRINGLOOP VAN HET WATER

De grote en de kleine kringloop van het water.



de atmosfeer: kringloop van het water

DE ATMOSFEER: KRINGLOOP VAN HET WATER

8.1. Verdamping en neerslag

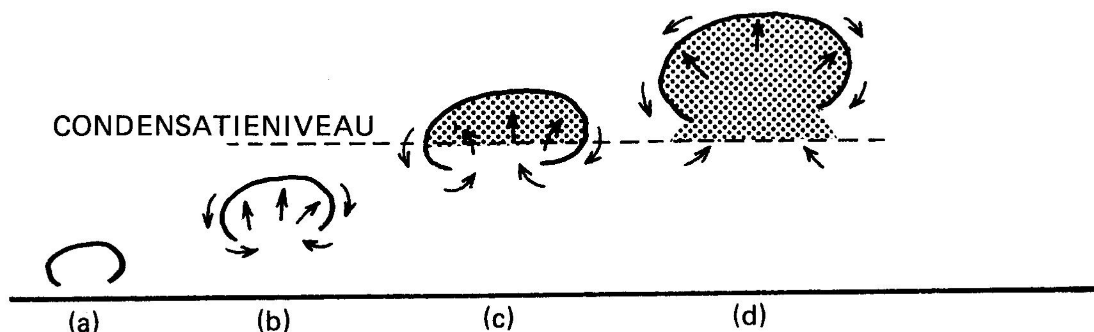
Ongeveer tweederde van het aardoppervlak is bedekt met water. Daar kan voortdurend water verdampen, en ook te land, wanneer de bodem vochtig is. Verder kunnen er waterdeeltjes ontsnappen uit de ijs- en sneeuwgebieden aan de polen en op hoge bergen.

Toch maakt waterdamp maar een klein gedeelte uit van de massa van de atmosfeeer: ongeveer 0,25 %. Als al die damp zou condenseren, zou dit een laagje water van 2 cm opleveren over de hele aardbol.
Vergelijk dit eens met de hoeveelheid neerslag - regen, sneeuw en hagel - die jaarlijks valt: ongeveer 100 cm, gemiddeld over de hele aarde. De waterdamp in de atmosfeer zou ongeveer toereikend zijn voor de neerslag in een week. Je kunt ook zeggen: gemiddeld eens per week moet de waterdampvoorraad in de lucht vernieuwd worden.

Hoe komt het dat er eigenlijk maar zo weinig waterdamp in de lucht zit? We hebben gezien (zie 7.5.) dat bij 30 ^{o}C een volume van 1 m^3 ongeveer 30 gram waterdamp kan bevatten. Dat is al vrij weinig in vergelijking met de massa van 1 m^3 lucht bij normale druk, en bovendien komt lucht van 30 ^{o}C maar weinig voor. De gemiddelde temperatuurbij het aardoppervlak is veel lager. Daar komt nog bij dat de temperatuur lager wordt naarmate je hoger boven de aarde komt (ongeveer 1 graad per 100 meter, zie hoofdstuk 5.2). En tenslotte: lang niet altijd en overal raakt de lucht met waterdamp verzadigd.

8.2. Het transport van water

In hoofdstuk 5 is de kringloop van lucht al besproken. De 'motor' daarvan is de zonnestraling die de aarde verwarmt, waardoor lucht onderin de atmosfeer verwarmd wordt en opstijgt. Dat verhaal blijft gelden als de lucht waterdamp bevat, maar het vervolg kan anders zijn. Doordat namelijk de opstijgende lucht in temperatuur daalt, kan de verzadigingstoestand bereikt worden, zodat er waterdamp gaat condenseren tot wolken. Hoe vochtiger de lucht is, des te minder hoog hoeft ze te stijgen om wolken te vormen: des te lager ligt de 'wolkenbasis'. De onderstaande figuur geeft aan wat de verdere levensloop is van de opstijgende luchtbel uit 5.2.



Door de condensatie van waterdamp komt warmte vrij, waardoor de temperatuurdaling in de 'luchtbel' wordt tegengegaan en de beweging omhoog zich nog verder kan voortzetten dan zonder condensatie. Op warme zonnige dagen ontstaan zo stapelwolken; in de weerkunde noemt men dit wolkentype 'cumulus'.

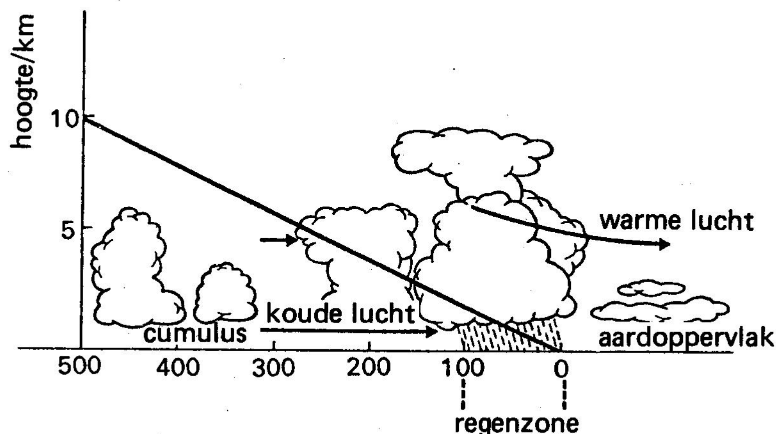
Lang niet altijd is de opwarming van de lucht zo sterk en plaatselijk verschillend, dat er 'luchtbellen' opstijgen. Als er langzamer en regelmatiger vochtige lucht opstijgt, vormen zich horizontale wolkenlagen over grote gebieden. Dit wolkentype wordt 'stratus' genoemd.

De opstijgende luchtbewegingen brengen waterdamp van het aardoppervlak omhoog. Door horizontale luchtstromingen kunnen waterdamp en wolken over grote afstanden meegenomen worden.

8.3. Koufronten en warmtefronten

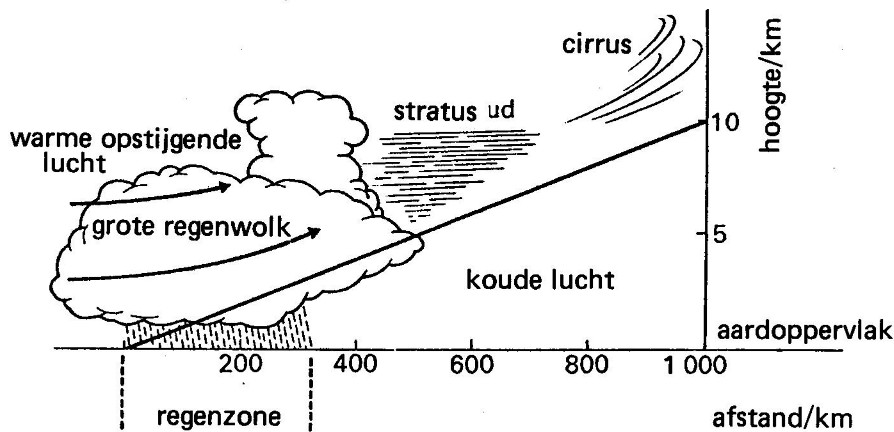
In weerberichten is vaak sprake van fronten; dat zijn smalle overgangsgebieden tussen warme en koude luchtmassa's. Ook hier speelt het verschil in dichtheid een belangrijke rol.

Bij het naderen van een koufront schuift de koude lucht min of meer onder de warme. De warme lucht wordt opgetild en koelt af waardoor flinke regenbuien kunnen ontstaan.

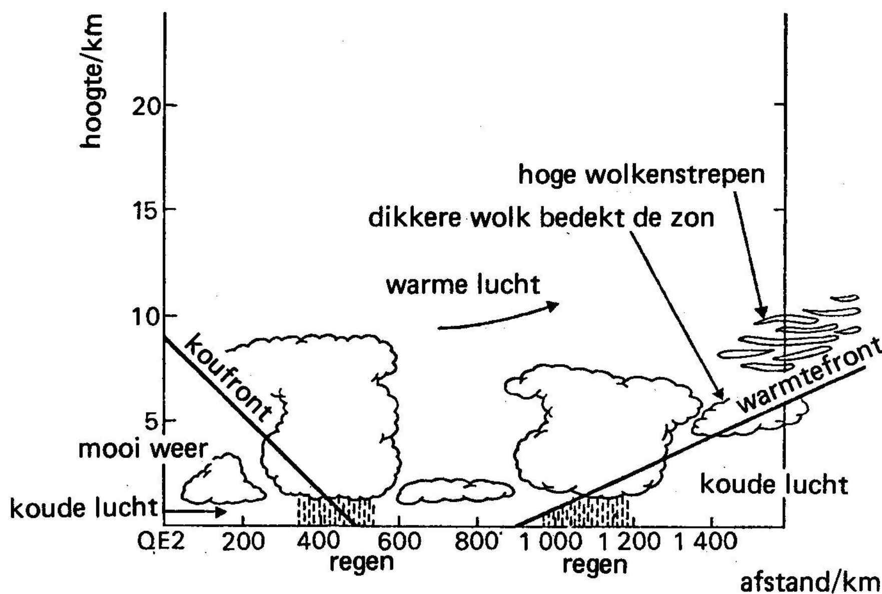


De snelheid waarmee zo'n front zich verplaatst kan wel 100 km per uur bedragen; gemiddeld is de snelheid 's zomers ongeveer 30 km per uur, 's winters ongeveer 60. In enkele uren kan zo'n front ons hele land gepasseerd zijn.

Bij het naderen van een warmtefront schuift de warme lucht over de koude lucht. De eerste voortekenen zijn 'windveren': dunne, dradige wolken op grote hoogte; dit wolkentype heet in de weerkunde cirrus. Daarachter komt aaneengesloten bewolking (stratus) met achteraan een regenzone. Als het front gepasseerd is, komen we in koudere lucht met opklaringen.



Onze streken vormen vaak een 'strijdtoneel' tussen warme luchtmassa's uit het zuidwesten en koude lucht uit noordelijker gebieden.
Daarbij ontstaan vaak depressies: lagedruk-gebieden, waar de luchtstromingen een soort grote draaikolk vormen. Het 'mechanisme' hiervan is erg ingewikkeld: meestal veroorzaken ze bij ons een warmtefront dat vrij snel gevolgd wordt door een koufront.



8.4. Zwevende en vallende druppels

Wolken kunnen lange tijd blijven 'zweven', terwijl water toch veel zwaarder is dan lucht. De druppeltjes in een wolk vallen feitelijk ook wel, maar die beweging wordt tegengewerkt door luchtwrijving. Bij een bepaalde snelheid ondervindt het druppeltje evenveel luchtwrijving als aantrekking door de aarde. De snelheid blijft dan constant; hoe kleiner het druppeltje is, des te eerder maakt de luchtwrijving 'evenwicht' met de zwaartekracht.
Zelfs zwakke opwaartse luchtstromingen kunnen er al voor zorgen dat wolkendruppeltjes omhoog gaan in plaats van omlaag.

	straal	snelheden
wolkendruppeltjes	0,001 tot 0,01 mm	0,1 tot 10 cm/s
motregen	0,01 tot 0,5 mm	10 cm/s tot 5 m/s
regen	0,5 tot 3,5 mm	5 tot 10 m/s

Regendruppels met een straal van meer dan 3,5 mm kunnen in een bui misschien wel gevormd worden, maar ze veroorzaken bij het vallen zulke hevige luchtwervelingen om zich heen dat ze in stukken uiteenvallen.

8.5. Condensatie en neerslag

Als vochtige lucht ver genoeg wordt afgekoeld, vormt zich een mist van kleine waterdruppeltjes. Elk van die druppeltjes moet ontstaan zijn uit een heel kleine 'kern'. Zo'n kern zou een groepje van enkele watermoleculen kunnen zijn, maar dat is erg kwetsbaar: een flinke botsing van b.v. een stikstofmolecuul en het groepje vliegt uit elkaar. Veel makkelijker vormt zich een druppeltje water rondom een brokje roet of stof.
Zulke stukjes vast materiaal doen dienst als *condensatiekernen*.

Gewoonlijk zijn er zoveel condensatiekernen beschikbaar, dat zich heel veel druppeltjes vormen. De meeste wolken bevatten wel meer dan honderd druppeltjes per kubieke centimeter. Die druppeltjes zijn erg klein, ongeveer 0,01 à 0,02 mm in middellijn. Als de temperatuur in de wolk daalt condenseert er nog meer waterdamp, maar dat extra water wordt verdeeld over heel veel druppeltjes. Door de onderlinge concurrentie blijven ze klein. Om een flinke regendruppel te vormen zouden duizenden van die kleine wolkendruppeltjes zich moeten verenigen - en dat doen ze niet zomaar.

Hoe kan er dan ooit regen ontstaan? Het antwoord op die vraag is niet eenvoudig. Er zijn twee processen aan te geven, die in grote lijnen als volgt verlopen.

A. Hoog in een dikke wolk kunnen soms druppeltjes ontstaan die groter zijn dan de anderen en die daardoor wat sneller vallen. Bij hun val halen ze kleinere druppeltjes in, die met de grotere samenvloeien. De grotere druppel groeit zo verder aan, valt steeds sneller, haalt daardoor steeds meer kleine druppeltjes in, enzovoort.

B. Bij afkoeling tot beneden 0 °C raken de meeste wolkendruppeltjes *onderkoeld*: ze krijgen een temperatuur onder het vriespunt, tot wel -10 °C en nog lager, zonder te bevriezen. Hier en daar vormt zich wel een ijskristalletje, en zo'n ijskristalletje blijkt makkelijker waterdamp uit de lucht te vangen dan een waterdruppeltje. Zo kunnen sneeuwvlokjes groeien, die gaan vallen; onderkoelde waterdruppeltjes vriezen eraan vast, andere vlokjes blijven eraan kleven, enzovoort.

In onze streken is dit laatste proces het belangrijkst. Als de onderste luchtlagen warmer zijn dan 0 °C, smelt de sneeuw tijdens het vallen gedeeltelijk of helemaal, tot natte sneeuw of regen.

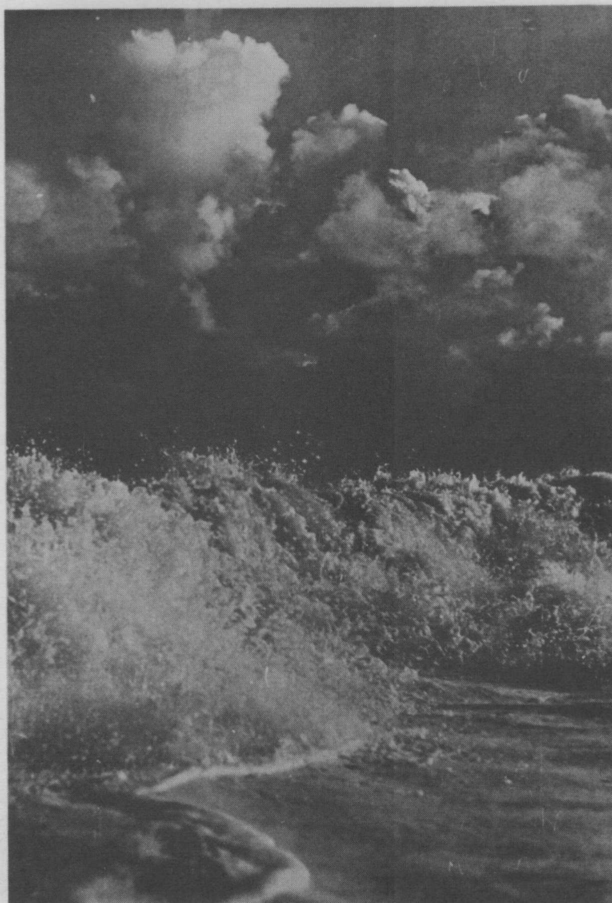
8.6. De kringloop van water en lucht

De kringloop van het water wordt in stand gehouden door de kringloop van lucht. Ook zonder water zouden luchtstromingen optreden, maar het water heeft er wel een grote invloed op.

Zo kaatst bijvoorbeeld een wolkendek ongeveer 50% van de zonnestraling terug, de ruimte in, en een laag verse sneeuw wel 90%. De opwarming van de lucht wordt daardoor sterk belemmerd. Omgekeerd gaat een wolkendek ook het warmteverlies door uitstraling tegen; 's nachts werken wolken als een 'deken'.

De circulatie van lucht zorgt voor een belangrijke warmte-uitwisseling tussen hete en koude gebieden. Het water versterkt die warmteuitwisseling, doordat het sterker verdampt waar het warm is, en meer condenseert waar het koud is.

Zonder de warmtekringloop zouden er geen planten groeien op het land, en ook die plantengroei heeft weer invloed op de absorptie van zonnestraling en op de verdamping van water. Zo spelen allerlei processen aan het aardoppervlak en in de atmosfeer op een ingewikkelde manier samen.



HOOFDSTUK 9

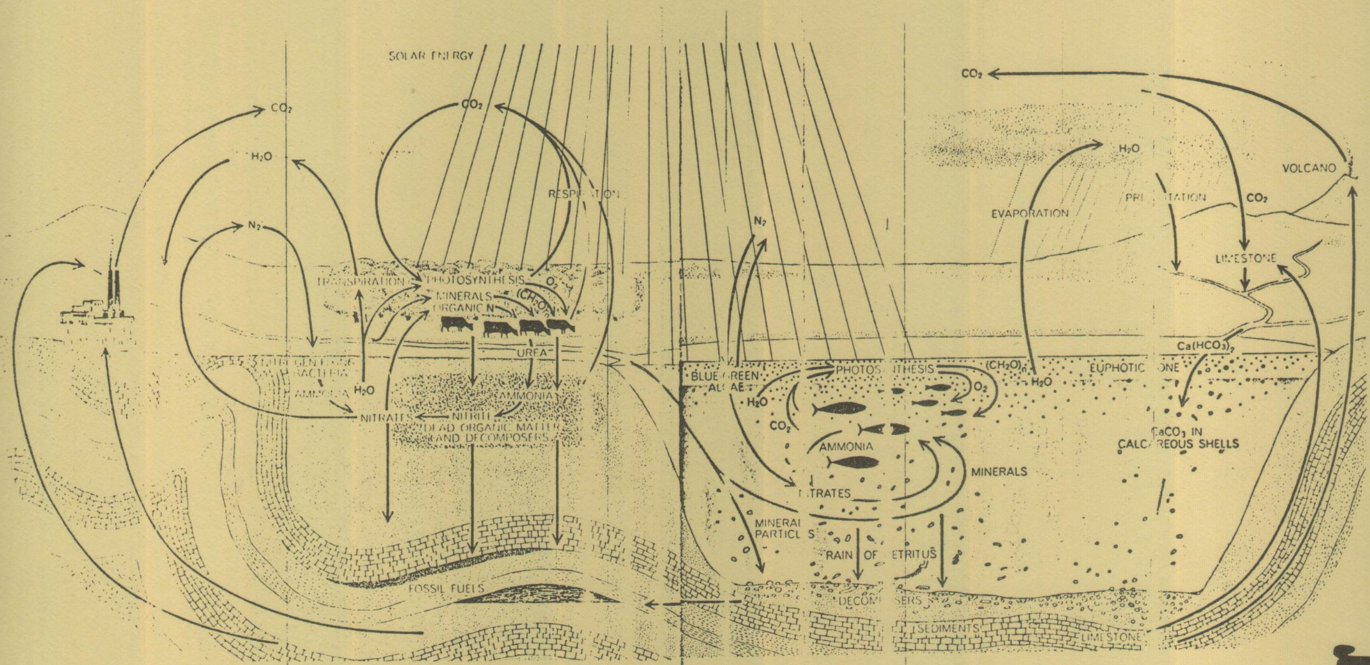
VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

Alvorens te beginnen aan de onderzoekjes in Hoofdstuk 10 kun je aan de hand van de opgaven in dit hoofdstuk nagaan of je het voorgaande hebt begrepen.
Dit hoofdstuk is los bijgevoegd.

vragen en vraagstukken

HOOFDSTUK 10

DIEPER EN BREDER



dieper en breder

In hoofdstuk 1 is beweerd dat denken vanuit kringlopen je een middel zou bieden waardoor het beter mogelijk wordt allerlei verbanden te zien. Of, anders gezegd, waardoor je meer details kunt zien samensmelten tot een zinvoller totaalbeeld.

Daarom zijn in hoofdstuk 2 een aantal kringlopen, zowel atmosferisch als technisch, globaal in hun totaliteit beschreven. Aan deze kringlopen hebben we detail vragen gesteld, die we door onderzoek hebben proberen te beantwoorden. Voor veel vragen is dat gelukt. Zodat we in hoofdstuk 6 en hoofdstuk 8 ook de weg terug, van de details naar de kringlopen, hebben kunnen inslaan.

Toch zijn er natuurlijk ook nog veel vragen onbeantwoord gebleven. Of, anders gezegd, ons totaalbeeld vertoont ook nog veel witte plekken.
Daar willen we in dit hoofdstuk nog wat aan doen. Maar het zal duidelijk zijn dat je daarbij opnieuw zult moeten kiezen. Bijvoorbeeld om op bepaalde details van een kringloop dieper in te gaan. Of om vooral een aantal kringlopen in een breder onderling verband te bekijken. Of een combinatie van beide.

Met het oog hierop worden hieronder een aantal onderzoekjes beschreven, waar je uit moet kiezen. Het zijn literatuur-onderzoekjes, dat wil zeggen dat je de aangegeven artikeltjes zorgvuldig bestudeert en daarover rapporteert aan de klas. De artikeltjes zijn niet speciaal geschreven voor dit thema, maar voor een heel ander publiek.
Toch passen ze er voor het grootste deel goed bij. Het gaat bij deze onderzoekjes vooral om de volgende doelen:

1. DAT JE LEERT EEN MOEILIJK ARTIKEL ZELFSTANDIG KRITISCH TE LEZEN EN BEGRIJPEN
2. DAT JE LEERT DAARBIJ GEBRUIK TE MAKEN VAN EERDER OPGEDANE NATUURKUNDE KENNIS
3. MAAR OOK DAT JE IN DEZE ARTIKELTJES DE KRINGLOPEN LEERT ZIEN EN HERKENNEN ALS"STRUCTURENDE KADERS"

De diverse onderzoekjes bestaan uit de volgende artikeltjes. (bij elk onderzoekje hoort ook een "leeswijzer).

De atmosfeer

F. H. Schmidt
K.N.M.I., De Bilt

A. De atmosfeer

Hierbij gaat het om het artikel over "de atmosfeer" van F.H. Schmidt uit Natuur en Techniek 43, p. 675, 1975.

Het onderzoek naar de dampkring van de aarde heeft ons reeds een redelijk grote kennis gegeven van de fysische eigenschappen van de atmosfeer. Toch zijn er nog vele problemen - met name het ontstaan van de dampkring - die nog lang niet zijn opgelost. Ook het effect dat onze moderne samenleving op zijn eigenschappen zou kunnen uitoefenen is daarbij, in het bijzonder de laatste jaren, in het middelpunt van de belangstelling komen te staan.

B. Wolken en neerslag

Dit gaat over: "Het ontstaan van wolken en neerslag" door F.H. Schmidt, in Natuur en Techniek 44, p. 864, 1976.

en industrie en steden veranderen klimaat, de Volkskrant 14-2-'79.

wolken

Het Westeuropese landschap zou een volkomen andere indruk maken - zonder twijfel ook heel anders zijn! - wanneer niet het wisselend uiterlijk van de hemel tengevolge van de grote verscheidenheid in bewolking mede deze indruk zou bepalen.
Speciaal op de natuurkundige achtergrond van het wisselende en daardoor fascinerende uiterlijk van onze hemel, zal de nadruk worden gelegd.

en

neerslag

Volkskrant van WOENSDAG 24 JANUARI 1979

Nieuwe ijst...
nog onv...
voorlopig
...baar

C. Het klimaat

Hierbij gaat het om:

1. "De grenzen van het klimaat", door C.J.E. Schuurmans in Natuur en Techniek 42, p. 664, 1974.
2. "Nieuwe ijstijd voorlopig nog onvoorspelbaar", de Volkskrant 24-1-'79.
3. "Congres over aardklimaat: Vriezen of dooien", de Volkskrant 10-1-'79.

...ceanen ...isbelt?

D. Lucht- en waterverontreiniging

Hierbij horen de volgende middelen:

1. Les 12 "luchtverontreiniging en weersbeïnvloeding" uit de Teleac-cursus: 'wij en het weer' (videoaband)
2. Meteorologische aspecten van luchtverontreiniging uit: Milieubalans van Nederland (1972).
3. Moeten wij de oceanen degraderen tot vuilnisbelt? J.J. Mulckhuyse, uit: Milieubalans van Nederland (1972)

Dr. J.J. ...



E. Binnenklimaat

Dit gaat aan de hand van:
College over de K-waarde van uw caravan uit: "Kampeer en caravan kampioen", oktober 1977.

Staan er binnenkort op de caravans een aantal sterren, waaraan je – net als bij koelkasten – kunt zien wat je ervan kunt verwachten? Als het aan de Deen Ola Tröing ligt wel. Hij ontwierp een aantal proeven, waarmee de ventilatie, isolatie en verwarming van caravans kunnen worden gemeten. Deze drie factoren bepalen gezamenlijk de behaaglijkheid in de caravan.
Afgelopen winter hebben drie toeristenbonden (de Deense FDM, de Duitse ADAC en de ANWB), samen met enkele caravanfabrikanten, in het Duitse Alpengebied uitgebreide proeven op dit gebied genomen onder leiding van Ola Tröing.
Caravanredacteur Van Hilten was erbij en duikt hier diep in het rapport, dat na afloop werd opgesteld.
